



Universidad de Concepción
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo

Estudio para la Identificación de Calor Residual para Proyectos de Calefacción Distrital Ubicados en el Área Metropolitana de Concepción

Informe N°3: Estudio de Prefactibilidad Técnica y Económica

Versión N°5 / 21 de julio de 2017

Desarrollado por:



Para:



COMITÉ CORFO

Resumen

En 2015 la zona de Concepción Metropolitana, que comprende las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualpén, Talcahuano, Chiguayante, Hualqui, Concepción, Penco y Tomé, fue declarada Zona Saturada por material particulado fino respirable MP 2.5 como concentración diaria (D.S. 15/2015). En ese mismo año se inició el proceso de elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférica (Resolución N°882 del 10 de agosto de 2015 del Ministerio de Medio Ambiente).

Con la finalidad de encontrar soluciones que permitan disminuir las emisiones de material particulado desde fuentes fijas, el Ministerio de Medio Ambiente y CIFES han licitado el estudio denominado: **“Estudio para identificación de calor residual para proyectos de calefacción distrital ubicados en el área metropolitana de Concepción”**, cuyo objetivo es estimar los excedentes de calor proveniente de procesos industriales de Concepción Metropolitana, para la evaluación de su aprovechamiento en proyectos de calefacción distrital en esta área como una medida que apoye el proceso regulatorio del Plan de Descontaminación Atmosférica del área considerada.

El estudio fue desarrollado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción y está estructurado en cuatro paquetes de trabajo (PT). El presente informe corresponde al último informe técnico y contempla los resultados de los paquetes de trabajo PT3: **“Estudio de pre-factibilidad de aprovechamiento de excedentes de calor en proyectos de calefacción distrital”**, y PT4: **“Estudio de reducción de emisiones”**.

En función de los resultados de estimación del potencial de calor residual para las plantas industriales de Concepción Metropolitana y en base al análisis de la infraestructura residencial, pública y comercial cercana a las industrias, se seleccionó un caso de estudio, para evaluar la pre-factibilidad técnica y económica de un proyecto de calefacción distrital con calor industrial residual. El proyecto que presentó las mejores condiciones para establecer una red de calefacción fue la Planta de Papeles Bío Bío, ubicada en la comuna de San Pedro de la Paz. Si bien este proyecto es el de menor escala (2 MWt), es el más atractivo, debido a la cercanía de la planta a la red de calefacción, facilidad para el trazado de la red, calidad de las viviendas, alta densidad poblacional, nivel socioeconómico medio alto (capacidad de pago), y al alto consumo de leña para calefacción en las viviendas (reducción de MP).

El diseño del proyecto de calefacción distrital contempló la recuperación de calor desde los gases de combustión de la caldera a biomasa de la planta de Papeles Bío Bío, mediante un intercambiador de calor tipo economizador. La red de distribución de calor fue diseñada para el suministro de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) mediante tuberías subterráneas. Los puntos de consumo contemplados fueron 20 condominios de viviendas (257 casas), 5 edificios residenciales (388 departamentos) y dos colegios. La estimación de la demanda de calor se realizó en base a las curvas de carga horaria de calefacción y de ACS en las viviendas y a los consumos de calefacción horaria en los colegios. Los requerimientos de calor para calefacción y ACS para el proyecto fueron de 6.759 MWh al año.

Se evaluaron los consumos de calefacción y ACS de acuerdo a los patrones de consumo que podrían darse en una situación con proyecto, y se compararon con los patrones observados en viviendas del sector. Los resultados arrojaron una mejor relación calidad/precio en un sistema distrital que en la situación actual, lo que permite elevar el estándar de consumo para un mismo nivel de gasto. Esto se evidenció en viviendas y departamentos que consumen energéticos fósiles, mientras que el gasto anual resulta un 46% superior al reportado en viviendas del sector que consumen leña para calefacción y GLP para ACS (escenario más desfavorable de comparación) a iguales niveles de consumo.

La evaluación ambiental concluyó que, como consecuencia del desplazamiento de leña para calefacción residencial bajo una condición de luso de leña con mayor contenido de humedad, se estaría dejando de emitir entre 4,96 ton MP10/año, 4,56 ton MP2,5/año y 48,39 ton COV/año, este último precursor de material particulado secundario. Asimismo, con el desplazamiento de gas natural, GLP y kerosene para calefacción residencial y agua caliente sanitaria, se estaría dejando de emitir adicionalmente 0,01 ton

MP10/año, 0,01 ton MP2,5/año, 0,34 ton NO_x/año, 0,10 ton SO₂/año y 406,26 ton CO₂ /año. Si bien la reducción de material particulado no es significativa por el desplazamiento de estos energéticos, se genera una reducción importante de dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), siendo estos últimos vinculados a contaminantes responsables del cambio climático (CO₂) y, en el caso del NO_x, responsable de la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida.

La rentabilidad privada del proyecto arrojó un VAN de 347 millones de pesos sobre una inversión de 1.157 millones de pesos (30% de retorno sobre el capital invertido), una TIR del 13,1% y un payback de 7,63 años, en un horizonte de evaluación de 50 años. Adicionalmente, las emisiones de contaminantes reducidos debido a la introducción del proyecto de calefacción distrital, permiten constituir un plan de compensación de emisiones, el que puede ser requerido por un gran establecimiento industrial para cumplir con las metas de reducción de contaminantes que el PPDA de Concepción Metropolitano le impondrá, y el cual fue valorizado en 365 millones de pesos (generando ingresos adicionales, después de impuestos, de 273 millones de pesos para el proyecto). Considerando esta fuente adicional de ingresos, la rentabilidad del proyecto aumenta a un 54% del capital invertido, con un VAN de 620 millones de pesos, una TIR del 15,5% y un payback de 6,45 años, en un horizonte de 50 años.

La rentabilidad demostró ser sensible al nivel de consumo de calor y al porcentaje de penetración del servicio, ambas variables influenciadas directamente por el precio de venta. Se estudiaron algunas estrategias para reducir la tarifa del servicio. En un escenario en que: 1) se redistribuya un 50% de los ingresos generados por el plan de compensación de emisiones, 2) se reconozca una franquicia tributaria que permita descontar el pago del 50% del impuesto a la renta para cofinanciar equipos que conforman el gasto fijo de los clientes, y 3) se considere una exención del 50% del IVA por la venta del servicio (la recaudación fiscal sigue siendo mayor en un escenario con calefacción distrital que en un escenario de consumo de leña informal), entonces el gasto anual en calefacción y ACS se puede reducir en un 17,1%, con lo cual resulta sólo un 20,9% mayor que en la situación con leña para calefacción y GLP para ACS, y menor en comparación al uso de GN/GLP en lugar de leña. A pesar de que el gasto sigue siendo mayor a una situación de consumo de leña para calefacción, se puede presumir que, en un sector residencial de un nivel socioeconómico medio-alto, un estándar de confort considerablemente mayor justificará esta alza de un 20,9% en el gasto, para igual nivel de consumo; se puede suponer también que el consumo podrá elevarse a un estándar de calefacción adecuado. Además, es importante destacar que los sistemas de calefacción distrital no tendrán restricciones para operar en periodos de alerta, pre-emergencia o emergencia ambiental, como sí ocurrirá con el uso de leña.

Contenidos

1	Equipo de Trabajo	8
2	Introducción	9
3	Estudio de Pre-factibilidad Técnica de Aprovechamiento de Excedentes de Calor en Proyectos de Calefacción Distrital	11
3.1	Selección del Caso de Estudio	11
3.2	Descripción del Caso de Estudio.	17
3.3	Tecnología de Recuperación de Calor Residual y Estimación Oferta de Energía.	18
3.4	Diseño Conceptual del Proyecto de Calefacción Distrital y Estimación de la Demanda	19
3.4.1	Requerimientos de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria	22
3.4.2	Diseño de la Red de Distribución de Calor	32
4	Estimación de la Reducción de Emisiones de Material Particulado.	37
4.1	Metodología de Evaluación del Impacto en las Emisiones Atmosférica.	38
4.2	Resultados de la Evaluación del Impacto en las Emisiones Atmosféricas.	42
4.2.1	Consumo de Combustibles y Emisiones de Contaminantes del Aire.	42
5	Modelo de Negocio	46
5.1	Producción de Calor	46
5.1.1	Propuesta de valor y clientes	46
5.1.2	Asociados y actividades clave	46
5.1.3	Modelo de ingresos y costos	47
5.2	Distribución de Calor	47
5.2.1	Propuesta de valor y clientes	47
5.2.2	Asociados y actividades clave	47
5.2.3	Modelo de ingresos y costos	48
5.3	Consumo Final de Calor	48
5.3.1	Propuesta de valor y clientes	48
5.3.2	Asociados y actividades clave	49
5.3.3	Modelo de ingresos y costos	49
5.4	Compensación de emisiones	50
5.4.1	Propuesta de valor y clientes	50
5.4.2	Asociados y actividades clave	50
5.4.3	Modelo de ingresos y costos	50

6	Evaluación Económica	51
6.1	Inversión Inicial	51
6.1.1	Estudios de preinversión	51
6.1.2	Unidad de recuperación de calor	51
6.1.3	Red de distribución de calor	51
6.1.4	Calefacción central en viviendas	63
6.1.5	Inversión del proyecto de calefacción distrital 6	4
6.2	Costos de operación	56
6.3	Ingresos por ventas	57
6.3.1	Tarifa de venta variable	57
6.3.2	Cargo fijo de la tarifa de servicio	58
6.3.3	Otros cargos	59
6.3.4	Volumen de ventas	59
6.4	Compensación de Emisiones	61
6.5	Flujo de Caja y Rentabilidad	63
6.6	Situación Actual Versus Situación Propuesta	64
6.7	Análisis Económico	66
6.7.1	Análisis de la tarifa	66
6.7.2	Análisis de rentabilidad	67
6.7.3	Análisis de escenarios	68
7	Conclusiones	71
8	Anexos	73
8.1	Anexo 1: Especificaciones Técnicas del Economizador	73
8.2	Anexo 2: Cálculo de Cargas Térmicas en Viviendas.	75
8.3	Anexo 3: Cuestionario de Levantamiento en Terreno.	81
8.4	Anexo 4: Potencial de Reducción de Emisiones de Material Particulado por Recambio de Estufas a Leña	89
8.4.1	Supuestos para la estimación de costos de inversión y operación	91
8.4.2	Potencial de reducción de emisiones	91
8.4.3	Evaluación económica de una medida de compensación basada en el recambio de calefactores a leña	93

Equipo de Trabajo

1

Equipo Ejecutor

Dr. Alex Berg	Director de proyecto
Dra. Cristina Segura	Jefe de Proyecto
Dr. Luis Arteaga	Experto en procesos industriales y simulación de procesos
Ing. Javier Soubelet	Experto en evaluación de proyectos de calefacción distrital
Ing. Héctor Grandón	Experto en diseño y operación de procesos termoquímicos
Dr. Mauricio Flores	Experto en proceso de combustión, co-combustión carbón biomasa y análisis de emisiones gaseosas y de MP
Dr. Jorge Jiménez	Experto en gestión de la calidad del aire y emisiones atmosféricas

Contraparte Técnica

Andrés Pica	Jefe de la Oficina de Calefacción sustentable y nuevas tecnologías, Ministerio de Medio Ambiente
Rodrigo Dittborn	Profesional Oficina de Calefacción sustentable y nuevas tecnologías, Ministerio de Medio Ambiente
Tatiana García	Profesional Departamento de Planes, Ministerio de Medio Ambiente
Angela Reinoso	Profesional encargada del Estudio, CIFES
Viviana Huerta	Coordinadora Comité Solar

El presente informe técnico se enmarca dentro del estudio denominado **“Estudio para identificación de calor residual para proyectos de calefacción distrital ubicados en el área metropolitana de Concepción”**, que se encuentra ejecutando la Universidad de Concepción para el Comité Solar (ex Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables –CIFES), dependiente de la Corporación de Fomento de la Producción – CORFO.

Este estudio tiene por objetivo principal contar con una estimación de excedentes de calor proveniente de procesos industriales de Concepción Metropolitana, para la evaluación de su aprovechamiento en proyectos de calefacción distrital y contar con la evaluación del potencial uso de calor residual proveniente de la actividad industrial en dicha área, para su uso en calefacción distrital, como una medida que apoye el proceso regulatorio del Plan de Descarbonización Atmosférica del área considerada. Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

1. Revisión de experiencias nacionales e internacionales de aprovechamiento de excedentes de calor provenientes del sector industrial.
2. Identificación del potencial de aprovechamiento de excedentes de calor en el sector industrial de Concepción Metropolitana.
3. Evaluar la pre-factibilidad para el aprovechamiento de excedentes de calor en proyectos de calefacción distrital.
4. Evaluar la potencial reducción de emisiones asociadas a la implementación de medidas en Concepción Metropolitana, para ser considerado como medida dentro del sistema de compensación de emisiones.

El plan de trabajo planteado por el equipo ejecutor se estructuró en cuatro paquetes de trabajo (PT), uno por cada objetivo específico, y se encuentra detallado en el Primer Informe Técnico. En forma resumida los PT planteados fueron los siguientes:

PT 1: Experiencia nacional e internacional de aprovechamiento de excedentes de calor industrial en proyectos de calefacción distrital. Los resultados de este paquete de trabajo se reportaron en el Segundo Informe Técnico.

PT 2: Potencial de aprovechamiento de excedentes de calor en Concepción Metropolitana. La información del potencial de calor residual industrial de las comunas de Concepción Metropolitana se informó en el Tercer Informe Técnico.

PT 3: Estudio de pre-factibilidad de aprovechamiento de excedentes de calor en proyectos de calefacción distrital. Los resultados de este paquete de trabajo se presentan en este informe técnico.

PT 4: Estudio de reducción de emisiones. La estimación de la reducción de emisiones de material particulado asociada al proyecto de calefacción distrital evaluado se muestra en el presente informe.

El presente informe técnico contiene los resultados asociados a los paquetes de trabajo PT3 y PT4 descritos anteriormente. Para facilitar el entendimiento y análisis de la información generada, los resultados de ambos paquetes de trabajo fueron fusionados en un solo informe, el que fue estructurado en los siguientes capítulos de resultados:

Capítulo 3: Pre-factibilidad técnica del caso de estudio. Esta sección considera la selección del caso de estudio, la definición de la tecnología de recuperación de calor, caracterización de la demanda de energía térmica para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) y diseño conceptual del proyecto de calefacción distrital.

Capítulo 4: Estimación de la reducción de emisiones de material particulado del caso de estudio. Se entrega la cantidad de emisiones de material particulado para la línea base (sistema existente de calefacción) y para el escenario de uso de calefacción distrital utilizando excedentes de calor industrial. Adicionalmente, se incluye la estimación de reducción de gases efecto invernadero producto del proyecto de calefacción distrital.

Capítulo 5: Modelo de negocio propuesto para el proyecto de calefacción.

Capítulo 6: Evaluación económica del caso de estudio.

Capítulo 7: Conclusiones generales.

3

Estudio de Pre-factibilidad Técnica de Aprovechamiento de Excedentes de Calor en Proyectos de Calefacción Distrital

3.1 Selección del Caso de Estudio

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Paquete de Trabajo PT2: **“Potencial de aprovechamiento de excedentes de calor industrial en Concepción Metropolitana”**, y cómo es posible apreciar en el mapa de la Figura N°1, las plantas industriales con mayor cantidad de calor residual disponible para potenciales proyectos de calefacción distrital son: Vidrios Lirquén en Penco; Siderúrgica Huachipato en Talcahuano; Enap Refinería Bio Bio y Petropower en Hualpén; Papeles Bio Bio y Masisa en San Pedro de la Paz; y las centrales termoeléctricas Bocamina y Santa María ubicadas en Coronel.

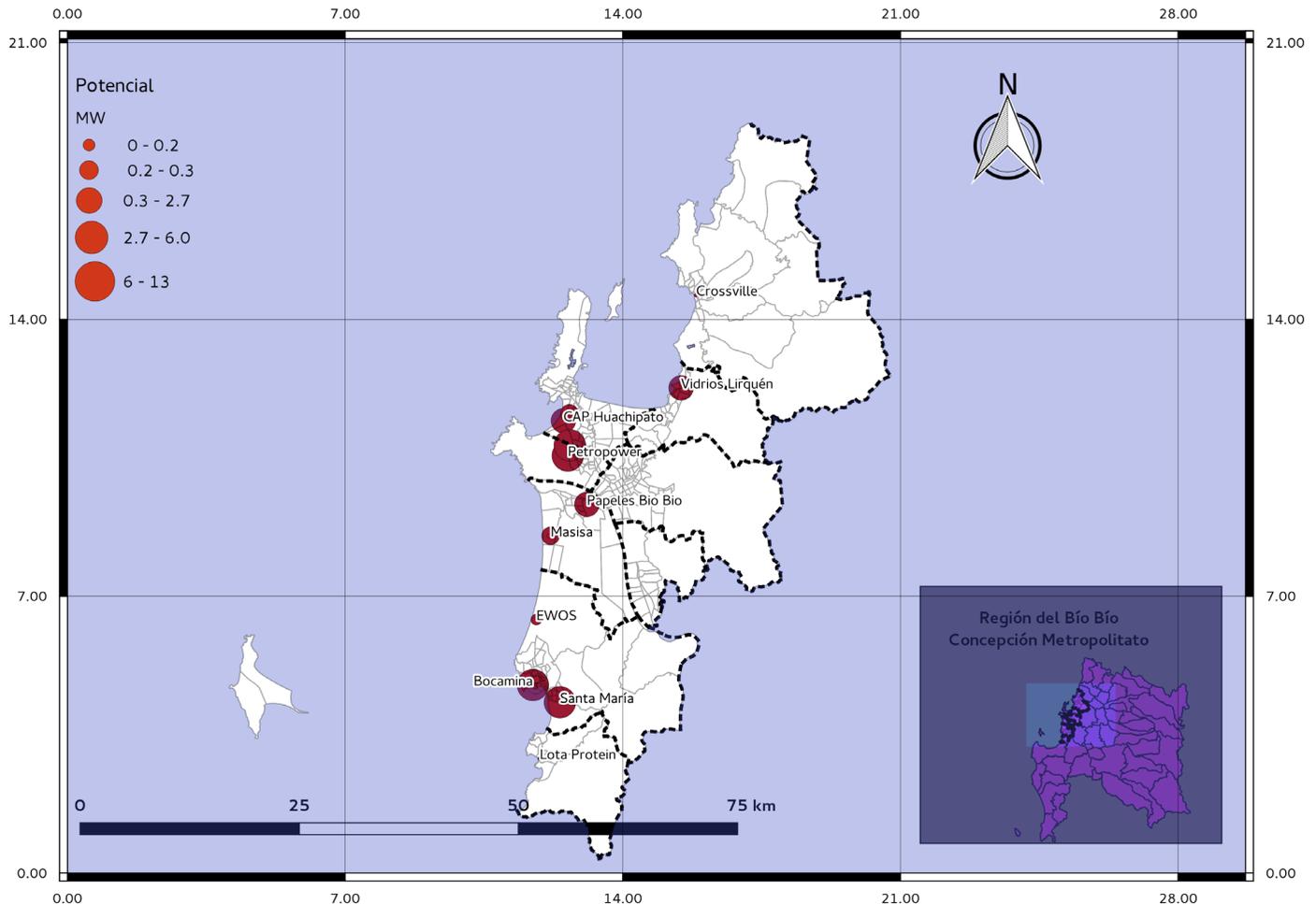


Figura 1: Potencial de calor industrial residual aprovechable para proyectos de calefacción por planta industrial de las diferentes comunas de Concepción Metropolitana.

Con el propósito de contar con antecedentes complementarios sobre los potenciales proyectos de calefacción distrital con calor residual industrial identificados en el PT2 (Fig. 1), que permitieran tomar una decisión respecto al caso de estudio a evaluar, el equipo ejecutor junto a la contraparte técnica del Ministerio de Medio Ambiente efectuaron una visita de reconocimiento en terreno, la que se realizó los días 27 y 28 de marzo de 2017.

Conforme a los antecedentes técnicos entregados en el paquete de trabajo PT2 y a los resultados de la visita a terreno, se pre-seleccionaron cinco potenciales proyectos pilotos para calefacción distrital con calor residual en el Gran Concepción, los que se describen a continuación:

Proyecto 1: Planta Vidrios Lirquén en Penco. La infraestructura cercana a la planta considera el Hospital Penco-Lirquén y las viviendas residenciales ubicadas entre la planta y el hospital. Las viviendas no presentan buenas condiciones para viabilizar un proyecto de calefacción distrital por cuanto son muy heterogéneas, de materialidad básica y de acceso complejo para llegar con una red de calefacción.



Figura 2: Vista general de la infraestructura cercana a la planta de Vidrios Lirquén en Penco.

Proyecto 2: Siderúrgica Huachipato (CAP) en Talcahuano. El sector potencial para el trazado de la red de calefacción considera el Hospital Higuera y las viviendas ubicadas cercanas al hospital. Las casas presentan condiciones óptimas para facilitar el trazado de la red distrital (densidad poblacional, layout de las calles, no se intervienen avenidas o calles principales). Estas viviendas son de albañilería de dos pisos y pareadas en bloques de 14 casas. Sin embargo, las casas pertenecen a un estrato socioeconómico medio/bajo.



Figura 3: Infraestructura potencial para proyecto calefacción distrital en la Comuna de Talcahuano.

Proyecto 3: Enap Refinería del Bio Bio y Central Petropower en Hualpén. Atravesando la Avenida Nueva Costanera, se encuentra un sector residencial con buena densidad habitacional, compuesto por condominios de viviendas relativamente nuevas, para un estrato socioeconómico medio, medio/bajo. Se contabilizan al menos 1000 casas que cumplirían con un estándar mínimo de materialidad y diseño. A unos 500 m de la fuente de calor residual, existen 4 edificios pequeños, desde donde se podría conectar la red al resto de los condominios, con unos 2 km adicionales de red primaria.



Figura 4: Vista general de la Central Termoeléctrica Petropower en Hualpén.



Figura 5: Viviendas cercanas a la Central Termoeléctrica Petropower en Hualpén.

Proyecto 4: Papeles Bio Bio en San Pedro de la Paz. A un costado de la planta, en un radio menor a 500 metros, se encuentra una zona residencial con alta densidad poblacional compuesta por un conjunto de casas de propiedad de la empresa y habitadas por sus trabajadores, además de varios condominios de casas y edificios. Más específicamente, el conjunto de casas de la empresa corresponde a 64 viviendas de dos pisos, un primer piso de albañilería y segundo piso de madera, pareadas en bloques de 8 unidades. Al lado de esta villa se encuentra un condominio de 16 casas de dos pisos, buena materialidad y relativamente nuevas, independientes y de unos 100-150 m². Le sigue un condominio compuesto por tres torres de edificios, de 8 pisos cada una, que cuentan con calefacción central a gas licuado. Junto a los edificios, se encuentra otro condominio compuesto por 45 casas de dos pisos, de unos 150 m², buena materialidad, semipareadas. Todos los puntos de demanda están ubicados en un radio de 500 m desde la fuente de calor y no existen calles principales entre la planta y las viviendas. Además, todas las casas cuentan con calefactor a leña, excepto los edificios de departamentos.

En esta misma zona, cruzando la Avenida Presidente Jorge Alessandri, se encuentra el sector residencial Huertos Familiares. En este sector se localizan numerosos condominios de casas y edificios de departamento de clase media-alta y dos colegios (Colegio Concepción y Colegio Almondale).



Figura 6: Vista general del ingreso a la Planta Papeles Bio Bio y de las Viviendas de trabajadores. Comuna San Pedro de la Paz



Figura 7: Vista general de los condominios cercanos a la Planta Papeles Bio Bio en San Pedro de la Paz.

Proyecto 5: Central Termoeléctrica Bocamina en Coronel. La central termoeléctrica está ubicada en la Caleta Lo Rojas cercana a una zona industrial y al Puerto de Coronel. Se identificó sólo una zona residencial cercana con características aptas para pensar en un proyecto de calefacción distrital (materialidad aceptable, diseño uniforme de viviendas, buena densidad poblacional, facilidad técnica para el trazado de la red por las calles de acceso). Esta población está compuesta de unas 300 viviendas y está ubicada a unos 700 m de la fuente de calor residual.



Figura 8: Vista general de la Central Bocamina y de las poblaciones cercanas a la planta. Comuna de Coronel.

Para la elección del proyecto piloto a evaluar se aplicaron los siguientes criterios de evaluación, los que se dividen en tres categorías:

1. Potencial de energía térmica residual. En este punto se consideró el potencial de energía térmica recuperable de la corriente térmica, calidad de la corriente térmica residual (temperatura, limpieza de la corriente, flujo), tecnología de recuperación de calor y estabilidad de la generación de energía térmica.
2. Características de la demanda: en este grupo se contempló el tipo de infraestructura, calidad de las viviendas, densidad poblacional, tipo de calles para el trazado de la red y nivel socio económico como indicativo de capacidad de pago.
3. Desde un punto de vista ambiental: esta categoría considera el potencial de reducción de emisiones de material particulado.

En la Tabla N°1 se presenta el resultado de la evaluación cualitativa realizada a los cinco proyectos pilotos utilizando los criterios de evaluación anteriormente mencionados:

Tabla N°1: Evaluación cualitativa de potenciales proyectos de calefacción distrital

Criterio	Proyecto 1 Vidrios Lirquén	Proyecto 2 CAP	Proyecto 3 Enap y Petropower	Proyecto 4 Papeles Bío Bío	Proyecto 5 Bocamina
Recuperación de calor					
Cantidad de calor recuperable	++++	+++	+++++	++	+++++
Calidad de la corriente térmica residual y factibilidad de recuperación de calor	+++++	++++	++	++++	++
Demanda					
Distancia a la planta	++++	++	+++	+++++	++
Calidad de las viviendas (materialidad, tamaño)	+	++	+++	+++++	+++
Densidad poblacional	++	++++	++++	+++++	++
Factibilidad de trazado de la red	++	+++	+++	+++++	+++
Nivel socio económico	++	+++	+++	++++	++
Reducción de emisiones de MP	+++	++++	++++	++++	++++

En base a los criterios de evaluación aplicados, el equipo ejecutor y la contraparte técnica concluyeron que el proyecto que reunía las mejores condiciones para un sistema de calefacción distrital con calor industrial residual era el proyecto 4, correspondiente a la planta industrial Papeles Bío Bío ubicada en la comuna de San Pedro de la Paz. Si bien este proyecto es el de menor escala, es el más atractivo debido a una serie de factores: la cercanía de la planta a la red de calefacción, facilidad para el trazado de la red pues no requiere de la intervención de calles importantes, calidad de las viviendas (buena materialidad, construcciones relativamente nuevas), alta densidad poblacional, nivel socioeconómico medio alto (capacidad de pago), consumo de leña para calefacción en las viviendas (reducción de MP) y red de calefacción centralizada existente en las torres de edificios y en los dos colegios (bajo costo de conexión a la red). Así mismo, el proyecto puede ser pensado en etapas, en una primera instancia considerar una red que abarque la zona más cercana a la planta (de acuerdo a la oferta actual de calor residual de la planta) y luego, en etapas posteriores, expandir la red de calefacción hacia el sector residencial Huerto Familiares y hacia la Villa San Pedro, incorporando fuentes adicionales de calor, como por ejemplo: una nueva planta térmica instalada para este propósito o la venta de parte del vapor generado en la planta térmica de Papeles Bío Bío.

3.2 Descripción del Caso de Estudio

El proyecto propone el diseño de una red de calefacción distrital que recupere el calor residual generado por la planta de Papeles Bío Bío S.A., para ser distribuido por tuberías subterráneas a varios puntos de consumo en la zona cercana. Se emplaza en la comuna de San Pedro de la Paz y cubre los sectores aledaños a la planta de Papeles Bío Bío y el sector residencial de Huertos Familiares, tal como se puede apreciar en plano general mostrado en la Figura 9.



Figura 9: Vista general del proyecto de calefacción distrital con calor industrial residual.

3.3 Tecnología de Recuperación de Calor Residual y Estimación Oferta de Energía

La energía térmica para la red de calefacción proviene del calor residual recuperado en la planta de cogeneración de la empresa Papeles Bío Bío. La planta de cogeneración consiste en una caldera de biomasa del tipo acuotubular con capacidad de 40 toneladas de vapor por hora a 65 bar de presión, equivalentes a un potencia térmica bruta de 37 MW. El vapor generado es consumido en un proceso de cogeneración para generar 7,4 MW eléctricos mientras que el vapor de extracción es utilizado en el proceso de producción de papel. La caldera cuenta con un precipitador electrostático como sistema de control de emisiones de material particulado.

La corriente térmica residual corresponde a los gases de la combustión de biomasa que abandonan el precipitador electrostático a una temperatura entre 225 °C y 241°C. Estos gases son liberados al ambiente a través de una chimenea de 2.1 m de diámetro ubicada en el precipitador electrostático. La tecnología seleccionada para la recuperación de la energía de la corriente gaseosa residual es un intercambiador de calor gas/agua del tipo economizador. Esta este tipo de recuperadores de calor son ampliamente utilizados en la industria, para precalentar el agua de alimentación de la caldera. En este caso particular, la recuperación de calor se utilizará para producir agua caliente para la red de calefacción distrital.

El economizador fue cotizado por la empresa Thermal Engineering, representante en Chile de la empresa americana Eco Inc. El equipo fue dimensionado de acuerdo a los requerimientos del proyecto y sus especificaciones técnicas se adjuntan en el Anexo 1 del Informe. Este equipo fue diseñado para un flujo de 39 m³/h de agua caliente a 95°C y para una temperatura de salida de los gases de 170°C, equivalente a 2.0 MW de potencia térmica. Además, se consideró su construcción en acero inoxidable, para evitar la corrosión debido a la posible condensación de compuestos ácidos presentes en los gases de combustión.

Referente a la oferta de energía térmica, esta fue estimada en base a los datos de operación de la caldera de co-generación. De acuerdo al informe anual de emisiones del año 2016, la caldera operó continuamente durante todo el año a excepción de las paradas programadas para la mantención semestral (marzo y septiembre) y en contadas ocasiones producto de reparaciones menores. En la Figura 10 se muestra el resumen anual de operación de la caldera de biomasa para el año 2016, que considera la generación de vapor promedio (ton/h) y las horas de funcionamiento por mes expresado en porcentaje.

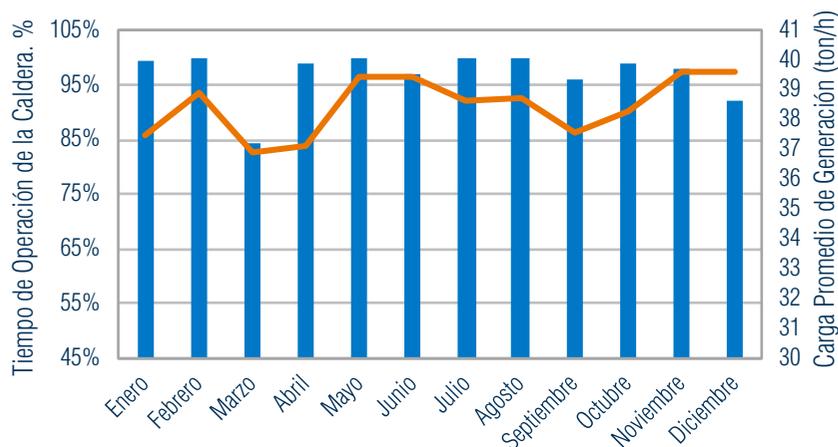


Figura 10: Resumen de generación de la caldera y horas de funcionamiento durante el 2016.

Como es posible observar en la Figura 10, la generación promedio de vapor para todos los meses fue de aproximadamente 38 ton/h y las horas de funcionamiento mensual superó el 95%, a excepción de los meses de marzo (parada programada) y diciembre (producto de una parada no programada por reparación). La parada programada de septiembre mantuvo la caldera fuera de servicio por sólo 1 día.

La determinación de la energía térmica recuperada de los gases de combustión se determinó en base a los datos CEMS de los flujos de vapor y gases de combustión, más datos de mediciones isocinéticas del año 2016. La potencia térmica promedio de recuperación de calor para la planta fue de 2 MW, con un valor mínimo de 1,3 MW y valor máximo de 2,8 MW. Por lo tanto, la oferta de calor para calefacción es altamente estable durante todo el año y durante todas las horas del día.

3.4 Diseño Conceptual del Proyecto de Calefacción Distrital y Estimación de la Demanda

El proyecto consiste en el diseño de una red de calefacción distrital que utiliza el calor residual generado por la planta de Papeles Bío Bío, para ser distribuido por tuberías subterráneas a varios puntos de consumo en la zona cercana. En la Figura 11, se muestra un acercamiento a la Planta de Papeles Bío Bío, en el cual se observan además algunos condominios de viviendas y edificios próximos a la planta. En la Figura 12 se presenta el trazado conceptual de la red de distribución de calor (tuberías primarias en rojo y tuberías secundarias en amarillo). En total, el proyecto contempla:

- 2 colegios (Colegio Concepción y Colegio Almondale)
- 20 condominios de viviendas (257 viviendas en total)
- 5 edificios o condominios de edificios (388 departamentos en total)

En la Figura 13 se pueden ver imágenes del conjunto de viviendas y edificios contemplados en el proyecto.

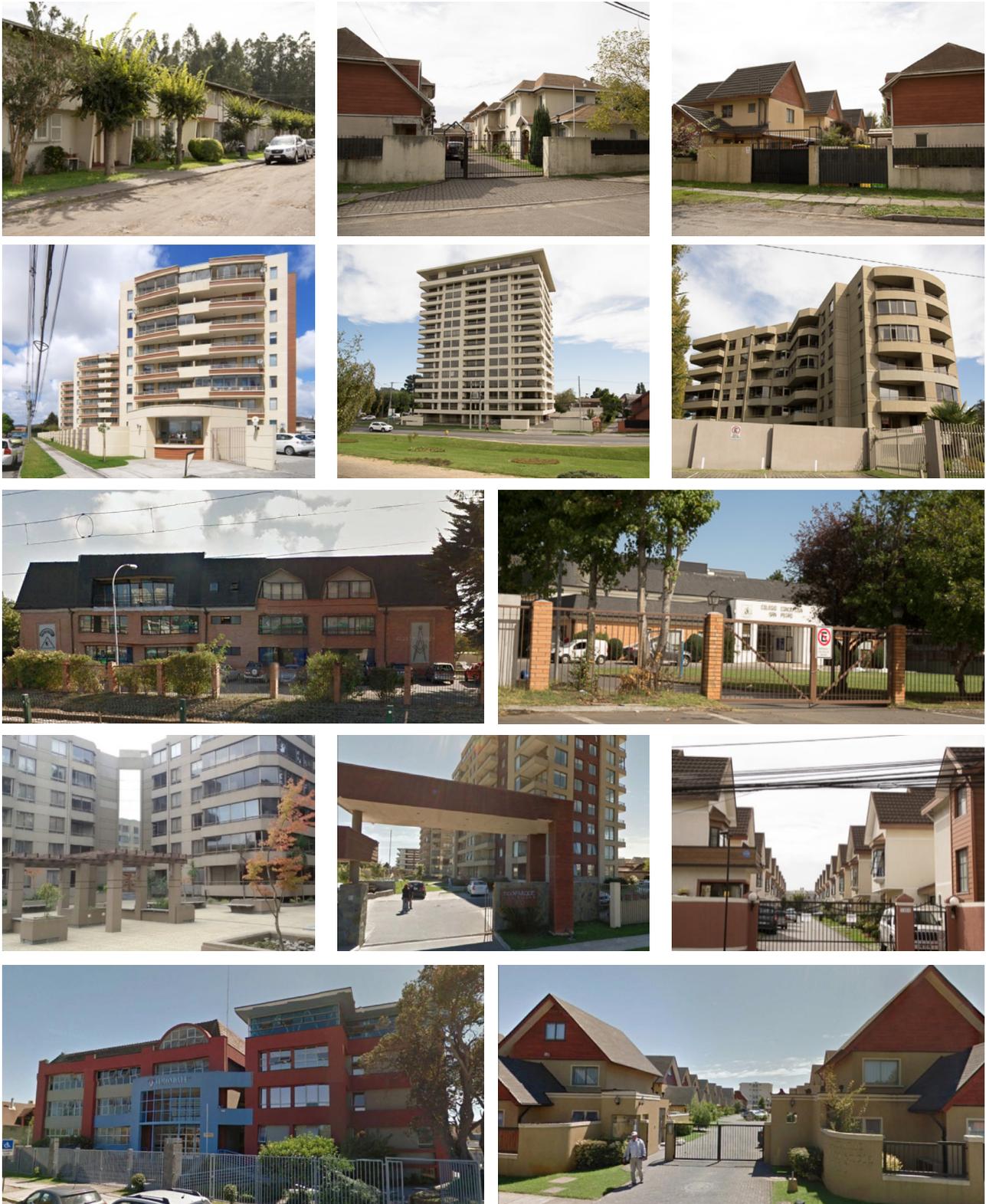
Se partió del supuesto de que el proyecto tendría una penetración del 60% en viviendas unifamiliares y en edificios que no cuentan con calefacción central, mientras que la penetración sería del 95% en el caso de edificios que cuentan con calefacción central (cifras incorporadas en el conteo previo). Esto se justifica por el costo que implica la instalación de elementos de distribución de calor en las viviendas. Si el sistema ya está instalado, es costo hundido. En los edificios del condominio San Sebastián de los Reyes, por ejemplo, sólo 12 de los 96 departamentos (12,5%) se descolgaron del sistema de calefacción central. Estos departamentos utilizan gas licuado o gas natural (existen 2 compañías operando), por lo cual se presume que, de llegar con una tarifa por servicio inferior al costo actual incurrido, existirán incentivos para conectarse nuevamente.



Figura 11: Vista de acercamiento de la planta de Papeles Bío Bío.



Figura 12: Plano general red de distribución de calor.



De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Casas Papeles Bío Bío, Condominio Calle Nueva 1222, Condominio Calle Nueva 1230, Condominio San Sebastián de los Reyes, Edificio Alto Huerto, Edificio Huerto Parque, Colegio Concepción vista trasera, Colegio Concepción vista frontal, Edificio Huerto Parque, Edificio EcoParque, Condominio Isabel de Castilla, Colegio Almondale, Condominio Doña Florencia.

Figura 13: Muestra de viviendas y edificios considerados en el proyecto.

3.4.1 Requerimientos de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria

Las viviendas y edificios requieren un suministro permanente de calor para calefacción durante los meses fríos, debido a que existen pérdidas continuas a través de la envolvente térmica y filtraciones de aire hacia el exterior. Para cuantificar estas pérdidas y, por consecuencia, la demanda de calefacción, se suele utilizar una metodología simplificada, que consiste en determinar el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales. La carga térmica de calefacción (capacidad de elevar la temperatura interior a un nivel de confort en un instante de tiempo dado) se realiza evaluando estas pérdidas:

$$Q_C = Q_T + Q_I + Q_A$$

Q_T : pérdida de calor sensible por transmisión a través de la envolvente térmica de la vivienda

Q_I : pérdida de calor sensible por infiltraciones de aire

Q_A : ganancia de calor sensible por aportaciones internas

3.4.1.1 Requerimiento de calefacción en viviendas

En general, las viviendas consideradas en el estudio presentan una estructura de muros de albañilería de ladrillo, vidrio monolítico con marco metálico, radier sobre tierra y techumbre de pizarreño, fibrocemento o similares. En unos pocos casos, se observó un mayor estándar de aislación térmica, como doble vidriado hermético o mayor aislación en techo. En todos los casos, se consideraron las condiciones particulares de cada vivienda para la estimación de la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente. Por lo general, estas viviendas fueron construidas antes del año 2007, cuando entró en vigencia la actual normativa de reglamentación térmica en viviendas. Por lo mismo, se consideraron valores de transmitancia que sobrepasan levemente la norma, salvo casos específicos. A pesar de lo anterior, se supuso que, en un escenario de materialización del proyecto, la condición térmica de estas viviendas no debiera alejarse mucho de la normativa, ya que es presumible que se invertiría primero en acondicionamiento térmico.

En la Tabla 2, se resumen los resultados de los cálculos de carga térmica para las 29 tipologías de viviendas consideradas en el proyecto. En las Tablas A1-A7 de la sección Anexos, se resume el cálculo de las pérdidas por transmitancia térmica en la envolvente, considerando una temperatura exterior de cálculo de 5°C¹ y una temperatura interna de confort de 21°C; las pérdidas por filtraciones de aire, a partir del volumen de la vivienda y la tasa de renovación de aire (a mayores filtraciones, mayor es la tasa de renovación de aire); y las ganancias de calor por aportaciones internas.

Tabla N°2: Cálculos de carga térmica para calefacción de viviendas (kW).

Vivienda	Pérdidas		Ganancias	Carga térmica
	Transmitancias	Infiltraciones	Aportaciones	
1	4,14	2,91	1,30	5,75
2	4,74	2,91	1,30	6,35
3	6,26	2,91	1,31	7,86
4	6,73	2,91	1,41	8,23
5	5,21	2,91	1,11	7,02
6	5,52	2,91	1,31	7,12
7	2,14	2,91	1,08	3,97

¹ La temperatura más baja del año fue de 1,3°C. Sin embargo, se suele utilizar una temperatura base de cálculo algunos grados superiores, ya que así se consideran otros factores no incluidos en el cálculo, como la acumulación de energía solar debido a la inercia térmica que presentan las viviendas. Además, estas temperaturas extremas se dan durante pocas horas al año, por lo cual no conviene sobredimensionar los sistemas de calefacción sólo para cubrir esos eventos. La temperatura del aire fue inferior a 5°C sólo en un 2% de las horas anuales.

Vivienda	Pérdidas		Ganancias	Carga térmica
	Transmitancias	Infiltraciones	Aportaciones	
8	2,46	2,91	1,19	4,19
9	1,82	2,91	1,19	3,54
10	2,11	2,91	1,30	3,72
11	2,34	1,52	1,19	2,66
12	5,86	2,12	1,31	6,67
13	3,26	1,94	1,31	3,90
14	4,82	1,94	1,31	5,45
15	5,97	1,82	1,31	6,48
16	7,07	2,18	1,31	7,95
17	7,49	2,59	1,31	8,77
18	8,12	2,83	1,41	9,54
19	6,80	2,59	1,41	7,97
20	6,08	2,12	1,31	6,89
21	10,24	5,56	2,33	13,47
22	12,37	4,87	1,87	15,37
23	6,73	2,67	1,31	8,09
24	2,40	2,53	1,30	3,63
25	7,52	2,26	1,42	8,36
26	8,47	3,29	1,42	10,34
27	8,38	3,82	1,42	10,78
28	9,84	4,25	1,42	12,67
29	9,84	4,25	1,42	12,67

Independientemente de la carga térmica calculada para cada vivienda, el consumo anual de calefacción obedece también a factores de comportamiento humano. Por lo mismo, se establecieron 4 escenarios más probables de consumo de calefacción²:

Tabla 3: Escenarios probables de consumo de calefacción distrital

Escenario	Alto consumo	Bajo consumo
A	T=21°C entre las 08:00 y las 23:00 hrs	T=15°C el resto del día
B	T=21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs	T=15°C el resto del día
C	T=21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs	Sin calefacción el resto del día
D	T=21°C entre las 19:00 y las 23:00 hrs	Sin calefacción el resto del día

Para cada uno de estos escenarios, se tomaron curvas de consumo derivadas de simulaciones dinámicas de viviendas unifamiliares en Rancagua y Osorno³, que corresponden a las zonas térmicas 3 y 5 respectivamente (San Pedro de la Paz está ubicada en zona térmica 4), y se determinaron factores de conversión (con un máximo de 1,00) para adaptarlo a las viviendas de este estudio según la carga térmica máxima calculada para cada una. Los resultados se presentan en la Figura N°14.

²Fissore y Colonelli (2013), "Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico". UDT (2013), "Calefacción distrital con biomasa en Chile".

³UDT(2013) "Calefacción distrital con biomasa en Chile: Evaluación técnica-económica-social de proyectos piloto en Rancagua". UDT(2013) "Calefacción distrital con biomasa en Chile: Evaluación técnica-económica-social de proyectos piloto en Osorno".

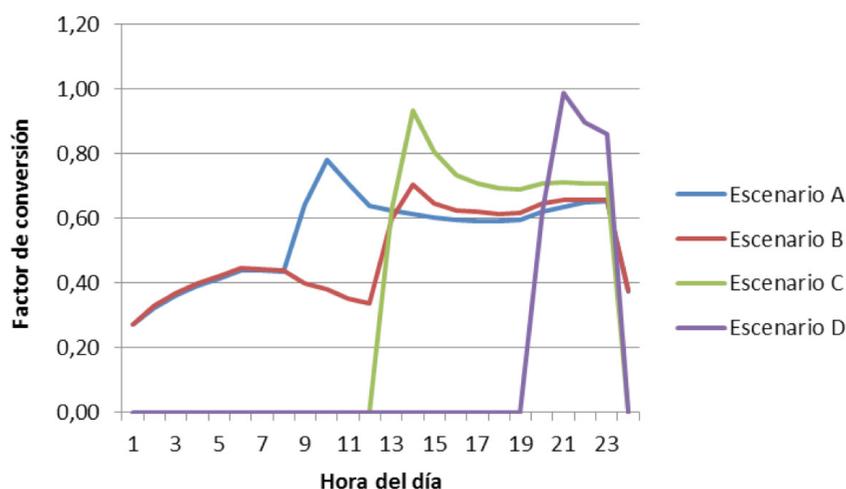


Figura 14: Curvas de consumo de calefacción para 4 escenarios probables

Además, se definieron 4 tipologías de vivienda, presentando cada una de ellas mayor preferencia por ciertos escenarios de calefacción (Tabla 4). Por último, se definieron las probabilidades de ocurrencia de cada escenario de consumo por tipología de vivienda (Tabla 5):

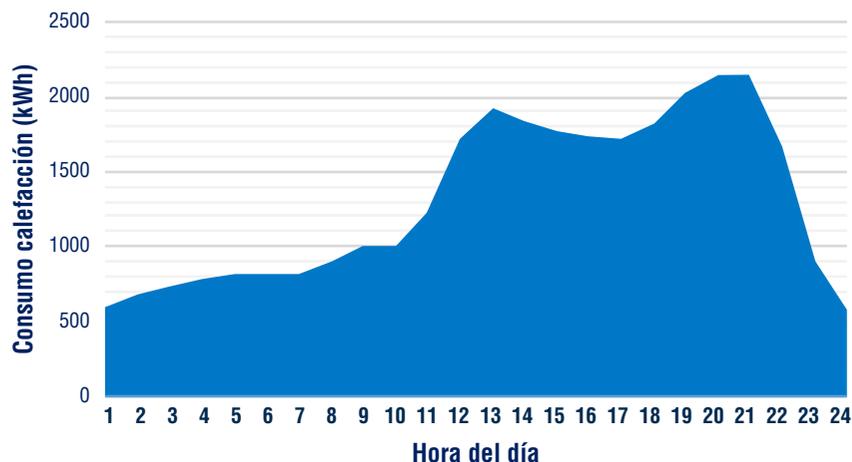
Tabla 4: Tipologías de viviendas y escenarios de calefacción

Código		Características
CF	Casa familiar	Casa de menos de 200 m ² . Escenarios A y B serían los más probables con calefacción distrital. Viviendas 1-6, 13-20, 23, 26
CFG	Casa familiar grande	Casa de 200 m ² o más. Mayor poder adquisitivo, escenario A y B serían más probables en este segmento. Viviendas 21-22, 25, 27-29
DP	Depto. pequeño	Depto. de 75 m ² o menos. Habitado por profesionales jóvenes, estudiantes o familias pequeñas, escenario D adquiere relevancia entre público joven. Vivienda 7
DM	Depto. mediano	Depto. de entre 75-100 m ² . Habitado por familias de 3-4 personas. Comportamiento intermedio entre CF y DP. Viviendas 8-9
DG	Depto. grande	Depto. de más de 100 m ² . Habitado por familias de 3-5 personas. Comportamiento similar a una CF. Viviendas 10-12, 24

Tabla 5: Probabilidades de Escenarios probables de consumo de calefacción distrital

	Escenario			
	A	B	C	D
CF	30%	30%	30%	10%
DP	20%	20%	20%	40%
DM	20%	30%	30%	20%
DG	30%	30%	30%	10%
CFG	35%	35%	20%	10%

Se simuló un proceso aleatorio con 100 iteraciones, de cuyo resultado se tomó el promedio para así obtener la curva consolidada de calefacción para todas las viviendas consideradas en el proyecto. Al comparar la carga máxima de la curva consolidada de consumo, con la suma algebraica de las cargas individuales, se obtiene un factor de simultaneidad de 0,695, lo que es consistente con la literatura. Esta cifra no mostró variabilidad significativa al restringir la muestra a distintos subgrupos de viviendas, mientras que el Q_{max} también se mostró estable entre iteraciones (media=2.147 kW, $\sigma=10,1$).



Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	10:00	12:00
Consumo calefacción (kWh)	578	601	676	732	778	811	819	825	908	1.012	999	1.225	1.721

Hora	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Total	Max
Consumo calefacción (kWh)	1.926	1.846	1.767	1.732	1.719	1.826	2.029	2.139	2.147	1.660	894	29.649	2.147

Figura 15: Carga horaria de calefacción para el conjunto de viviendas

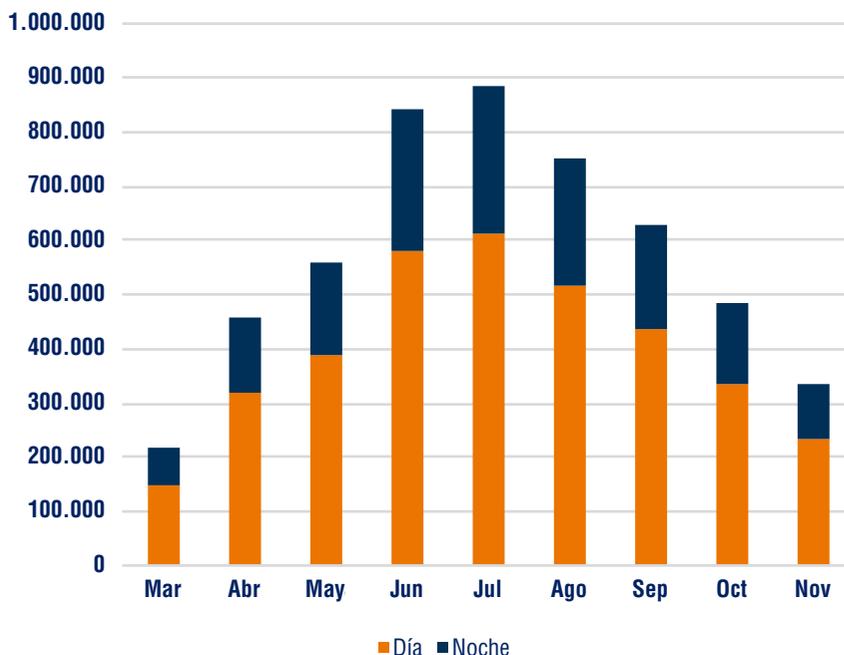
A partir de la carga térmica calculada para un día típico de invierno, se estimaron los grados-día de calefacción para el mes más frío del año y se comparó dicho valor con los grados-día de calefacción calculados según las temperaturas ambiente, para distintas temperaturas de cálculo en un rango 15-21°C, con variaciones de 0,5°C (Tabla 6). Con una temperatura de cálculo de 16°C, la demanda anual de calefacción se aproxima al patrón de consumo definido.⁴ Así, se calculó la demanda anual de calefacción para el conjunto de viviendas (Figura 16).

Concepto	Día	Noche	Total
Consumo diario calefacción (kWh)	21.738	9.633	31.371
Proporción	69%	31%	100%
Consumo mensual (kWh)	652.130	288.995	941.125
Grados-día/mes	140,6	62,3	203,0

Tabla 6: Cálculo de grados-día de calefacción a partir de la demanda obtenida para el mes más frío del año

⁴ El método de los grados-día consiste en una estimación simplificada de la demanda de calefacción de una vivienda o edificio. El cálculo se realiza fijando una temperatura de cálculo (temperatura de confort térmico) y supone que, durante todo el periodo analizado, la temperatura interior será igual a la temperatura de cálculo definida. Aunque se suele ocupar frecuentemente como referencia, este análisis requiere ajustarse para que el consumo de calefacción calculado de esta forma, se acerque al que se verificaría en una situación real. Al ser un método simplificado, que no toma en consideración todas las variables involucradas en el consumo de calefacción (ganancias internas, radiación solar, viento, humedad del aire, infiltraciones de aire, intermitencia del consumo), no entrega un marco teórico para corregir el cálculo. Incluso si se utilizaran sólo los grados-hora en que se consume calefacción, se estaría desconociendo el hecho de que las construcciones tienen propiedades de amortiguación térmica, por lo cual no existe una relación directa entre la temperatura exterior y la temperatura interior de confort. Por lo tanto, una alternativa es disminuir la temperatura de cálculo, de forma de que el consumo de calefacción calculado se aproxime a lo que se observaría en una situación real.

Consumo calefacción viviendas (kWh)



Mes	Día	Noche	Total
Mar	149.252	66.142	215.393
Abr	316.175	140.115	456.290
May	386.330	171.204	557.534
Jun	582.440	258.111	840.551
Jul	613.179	271.734	884.913
Ago	518.926	229.965	748.891
Sep	434.420	192.516	626.936
Oct	334.383	148.184	482.567
Nov	232.847	103.188	336.035
Total	3.567.952	1.581.158	5.149.110

Figura 16: Consumo anual de calefacción para el conjunto de viviendas

Además, se determinó una franja diurna (alta demanda) entre las 11:00 hrs y las 22:59 hrs y una franja nocturna (baja demanda) entre las 23:00 hrs y las 10:59 hrs, con el objeto de calcular una tarifa diferenciada en ambos periodos del día, así estimular el consumo nocturno.

3.4.1.2 Requerimiento de calefacción en colegios

Para el caso de los colegios considerados en el estudio, se trabajó específicamente con datos del Colegio Concepción y se asumió una curva similar para el colegio Almondale, debido a que no se obtuvieron los datos de este último y considerando que presentan tamaños similares.

El Colegio Concepción cuenta con una caldera a kerosene marca Dietrich de 200.000 kcal/h de potencia nominal, con la cual se suministra calefacción a todo el edificio. No hay ACS centralizada. Recientemente, se adquirió una caldera mural de condensación a gas, modelo Duotec 40, de 30.000 kcal/h de potencia nominal, para abastecer una ampliación con calefacción y agua caliente⁵. Ambas calderas funcionan a 70°C y 1,5 bar de presión, con 3 bombas para la caldera a kerosene y una bomba incorporada en la caldera a gas.

⁵No se consideró esta ampliación en el estudio, pues no se cuenta con antecedentes suficientes, ya que la caldera no había entrado en régimen al momento de la evaluación. Además, esto no afectará significativamente los resultados, ya que la caldera instalada en la ampliación tiene un 15% de la capacidad de la caldera grande y está pensada no sólo para entregar calefacción, sino también ACS. Por lo tanto, la carga de calefacción con la ampliación incluida, no debiera aumentar más allá de un 10%.

El consumo anual de kerosene para el año 2016 fue de 8.165 litros y funciona en los siguientes horarios⁶:

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Inicio	6:30	6:30	6:30	6:30	6:30	6:30	6:30
Término	12:30	12:30	12:30	12:30	11:30	11:30	10:00
Inicio	14:30	14:30	14:30	14:30	14:30	15:00	
Término	18:00	18:00	18:00	18:00	17:00	17:00	

Para determinar la potencia de calefacción, se realizaron dos análisis paralelos. Por una parte, se hizo el balance entre pérdidas por transmitancia, pérdidas por infiltraciones y ganancias internas de calor, de la misma forma en que se realizó para viviendas y utilizando estimaciones gruesas sobre la estructura y materialidad del edificio. En la Tabla 7, se reportan los resultados considerando una temperatura exterior de cálculo de 1,3°C (día más frío del año)⁷ y una temperatura interior de 16°C (total volumen contenido en el edificio). Si se fija la temperatura exterior de cálculo en 5°C (tal como se hizo para las viviendas), entonces la carga térmica desciende a 105,45 kW. Esta potencia no considera la energía adicional que absorbe el edificio, por lo cual la potencia requerida debiera ser superior (cuán superior depende de cuán rápido se desea aumentar la temperatura interior del edificio).

Pérdidas por transmitancia térmica de la envolvente				
	Superficie (m ²)	Transmitancia (W/m ² °C)	Salto térmico (°C)	Carga térmica (kW)
Cerramiento				
Muro exterior	956	1,70	14,7	23,89
Ventana	324	5,70	14,7	27,15
Piso (K lineal/perímetro)	155	1,20	14,7	2,73
Techumbre	1500	0,38	14,7	8,38
Total				62,15

Superficie edificio principal		
1er piso	1285	m ²
2do piso	1030	m ²
3er piso	640	m ²
Total	2955	m²

Pérdidas por infiltraciones de aire		
Volumen edificio	10.150	m ³
Infiltraciones	3,5	ren/h
Caudal pérdidas	35.525	m ³ /h
Salto térmico	14,7	°C
Calor específico aire	3,37E-04	kWh/m ³ °C
Pérdidas totales	175,98	kW

Total carga térmica edificio	165,39 kW
	11,25 kW/°C
	55,97 W/m²

Ganancias por aportaciones internas		
N° luminarias	110	
Factor de uso	90%	
Factor de simultaneidad	100%	
Tasa iluminación	90%	
Potencia por fuente	50	W
Calor sensible iluminación	4,95	kW
Calor sensible por persona	0,058	kW
N° personas	1200	
Tasa ocupación	100%	
Factor simultaneidad	90%	
Calor sensible ocupantes	62,75	kW
Potencia total instalada	8,00	kW
Tasa utilización	70%	
Factor de simultaneidad	90%	
Calor sensible aparatos	5,04	kW
Total ganancias	72,74	kW

Tabla 7: Cálculo carga térmica por método de balance energético de elementos constructivos

⁶El corte en el suministro de calefacción en medio de la jornada se debe a que, a esa hora, la temperatura ambiente alcanza su mayor nivel y el edificio fue capaz de almacenar suficiente energía para mantener la temperatura interior deseada, coincidiendo, además, con la hora de almuerzo en todos los establecimientos educacionales. Por lo tanto, es razonable asumir que ocurre de la misma forma en todos los colegios. En los meses más calurosos, la temperatura ambiente llega a niveles cercanos al confort cada vez más temprano, por lo cual se va reduciendo la duración de la calefacción, manteniendo la temperatura interior del edificio con la inercia acumulada durante las primeras horas de calefacción.

⁷En este caso, se utilizó el día más frío porque se buscó determinar si la capacidad máxima de la caldera era coherente con el consumo de combustible reportado y los supuestos considerados para el cálculo de carga térmica. Así, fue posible establecer que, efectivamente, la caldera es capaz de suministrar la energía necesaria en días extremos. Del análisis comparativo entre el cálculo de carga térmica (estimación) y el consumo anual de combustible (dato observado), fue posible validar los supuestos considerados. Una vez validados estos supuestos, se utilizó el consumo de combustible (dato real) para la curva de calefacción.

Por otra parte, se tomó el consumo anual de combustible y los horarios de operación de la caldera, y se determinó la variación intraday (Figura 17) y la variación anual (Figura 18), tomando como referencia los grados-día de calefacción por hora y por mes, respectivamente.

Los resultados de ambos enfoques coinciden si se consideran 3,5 ren/h de aire y una eficiencia térmica del sistema de generación/distribución del 85%.⁸ Si se toma como base el día más frío del año, se observa que la caldera entra al límite de su capacidad (Figura 17a), esto porque se considera que la caldera requiere potencia adicional para romper la inercia térmica del edificio. Mientras, si se toma un día promedio del mes más frío, la caldera no tiene problema en alcanzar una temperatura de cálculo de 16°C⁹, requiriendo sólo 133 kW de potencia máxima (Figura 17b).

Validados los supuestos de ambos enfoques, se utilizaron los datos obtenidos del consumo observado de combustible para el resto de la evaluación.

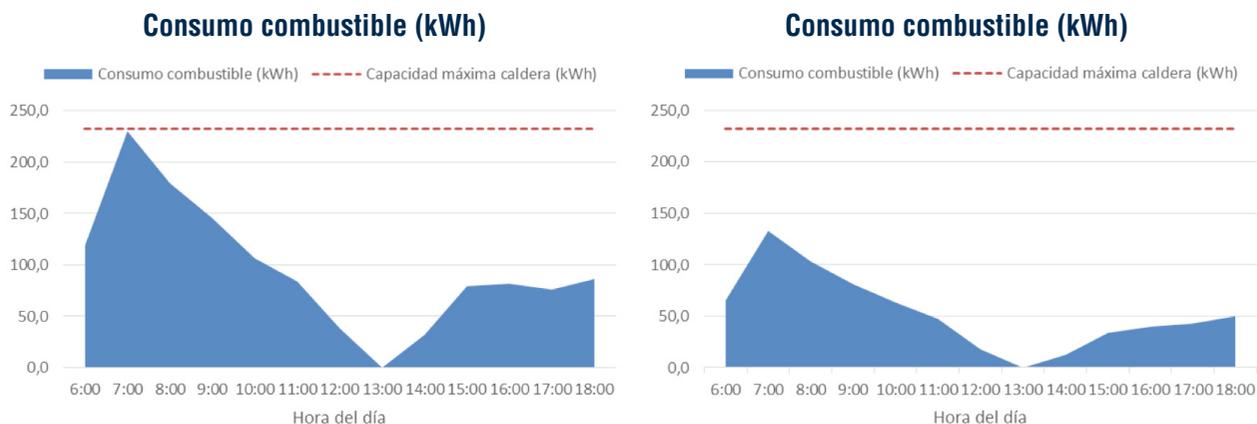


Figura 17: Consumo diario de combustible (kWh): a) temperatura mínima 1,3°C b) temperatura mínima 5°C.

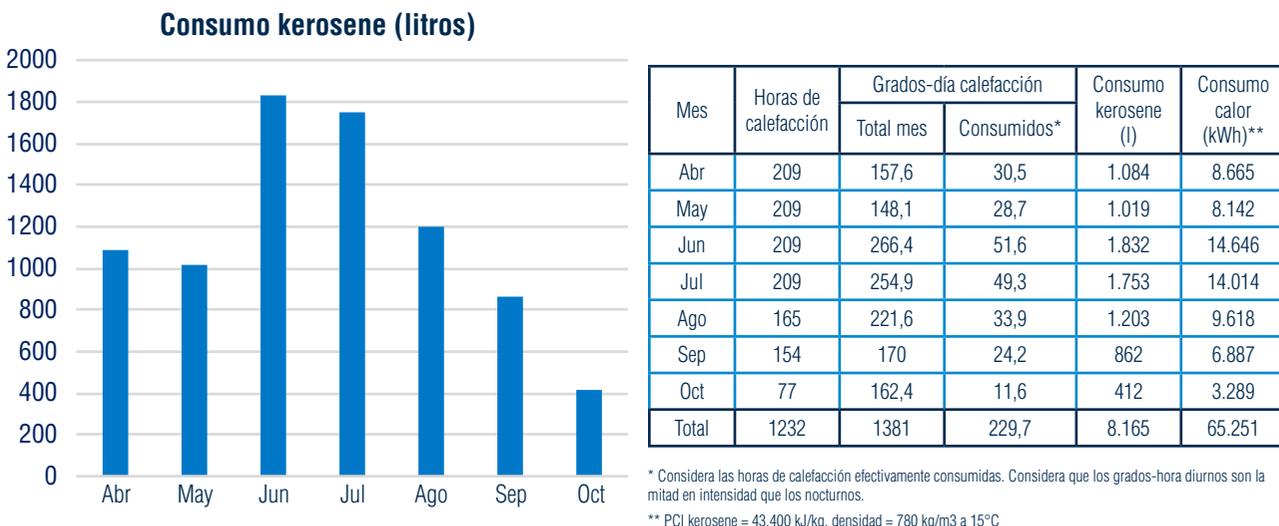


Figura 18: Consumo de kerosene (litros) Colegio Concepción (2016).

⁸Estos valores varían según la fuente considerada. Para el caso de colegios, existen referencias de entre 3 y 5 ren/h de aire. El valor de 3,5 ren/h se definió porque permite igualar el consumo de calefacción entre este análisis y el análisis del consumo de combustible, considerando, en este último caso, que la eficiencia del sistema de generación/distribución es de un 85%. Este último dato varía mucho caso a caso, dependiendo del diseño de la instalación. Generalmente, se aceptan valores de entre 70% y 90% de eficiencia. En este caso particular, se asumió que la eficiencia no debe ser demasiado baja, ya que no existen grandes distancias de distribución fuera del edificio, mientras que el calor cedido por las tuberías al interior del edificio no pueden considerarse pérdidas.

⁹ Como se explicó anteriormente, esta temperatura es referencial de cálculo y no quiere decir que la temperatura de confort será de 16°C.

3.4.1.3 Requerimiento de ACS en viviendas

Para el cálculo del volumen de consumo diario de ACS, se utilizaron los valores recomendados de diseño de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (40 litros/persona de ACS a 45°C), los que son equivalentes a los del Código Técnico de Edificación (CTE) de la normativa española (30 litros/persona de ACS a 60°C).¹⁰ Para determinar la potencia de producción de ACS en el transcurso del día, se requiere pasar a resolución horaria, para lo cual se identificaron los patrones más probables de consumo horario de ACS, de manera de que el consumo total diario fuera equivalente a los valores de diseño, y se multiplicó para el total de habitantes considerados en el proyecto. Para tener en cuenta el factor de simultaneidad del consumo (no todas las personas consumen simultáneamente), se generaron dos escenarios base y se ponderaron por su probabilidad de ocurrencia:

- a) Consumo fuerte entre las 6AM-8AM, consumo bajo entre las 11AM-13PM, consumo medio-alto entre las 6PM-8PM (90% probabilidad de ocurrencia)
- b) Consumo muy bajo el resto de las horas (10% probabilidad de ocurrencia)

Además, para el primer escenario de consumo de ACS, se generaron tres sub-escenarios: desfase en 1 hora hacia atrás (25% probabilidad ocurrencia), sin desfase horario (40% probabilidad de ocurrencia) y desfase en 1 hora hacia adelante (25% probabilidad de ocurrencia).

En un sistema de suministro instantáneo (por ejemplo con el uso de calefontes), la potencia del equipo es capaz de suministrar las puntas de consumo. Sin embargo, en un sistema de suministro indirecto de calor, es aconsejable el uso de un estanque de acumulación de agua caliente. Para ello, se calcula un volumen que sea capaz de suministrar el requerimiento punta en la mañana, el cual se recupera durante el transcurso del día, cuando la demanda no es tan intensiva. En la Figura 19, se observa un patrón muy común de consumo de ACS para una familia compuesta por 4 personas. De esta forma, configurando la operación del estanque para que se distribuya la transferencia de calor durante el día, se obtiene una curva plana de producción de ACS. Para el mismo ejemplo anterior, se requeriría un volumen de inercia mínimo de 83 litros.

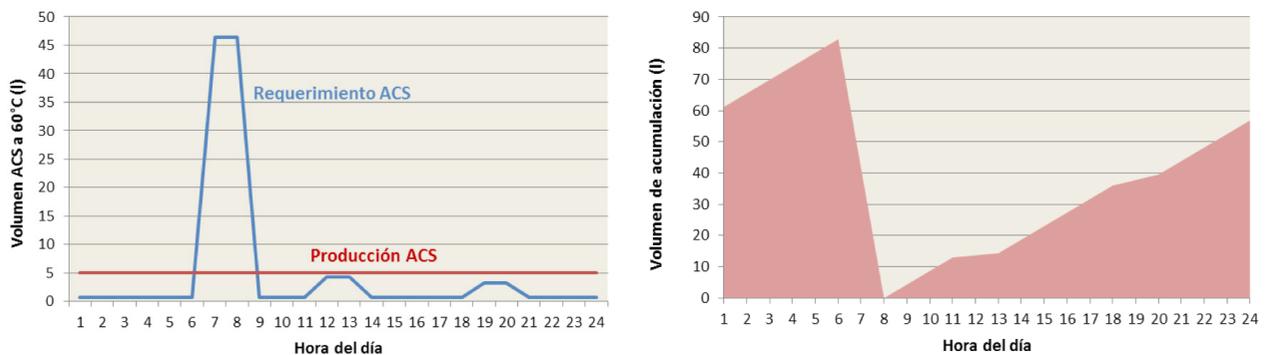


Figura 19: Ejemplo de patrón muy común de consumo de ACS para una familia de 4 personas.

Con el fin de evitar la proliferación de bacterias del género Legionella, que crecen en aguas estancadas en temperaturas entre 35-50°C, la temperatura del agua dentro del acumulador no debe descender jamás de 50°C, por lo cual se configura el sistema de distribución de agua caliente dentro de la vivienda en 60°C. Para que sea apta para el consumo, la temperatura del ACS se reduce a 45°C, lo que se logra mezclando el agua caliente a 60°C con el agua de la red de agua potable (temperatura promedio de 12,6°C para Concepción, valores mensuales obtenidos de la CDT), antes de llegar a los puntos de consumo (ducha, lavamanos, lavaplatos, lavadora, otros).

¹⁰ El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), España.

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

$$\text{Consumo} = V \cdot \rho \cdot c_p (T_{ref} - T_{red}) \text{ (cal}\cdot\text{h}^{-1}\text{)},$$

Donde:

V es el flujo volumétrico de ACS, valor que depende del consumo de la vivienda ($\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$),

ρ es la densidad del agua a 60°C, cuyo valor es de 983,13 ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

c_p es el calor específico del agua a 60°C, cuyo valor es igual a 1,00 ($\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$),

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 (°C),

Considerando los escenarios de consumo enunciados previamente, se obtiene la curva de requerimiento y producción de ACS para el proyecto (Figura 20). Nótese que quedan considerados también los patrones de consumo que son más intensivos al final del día.

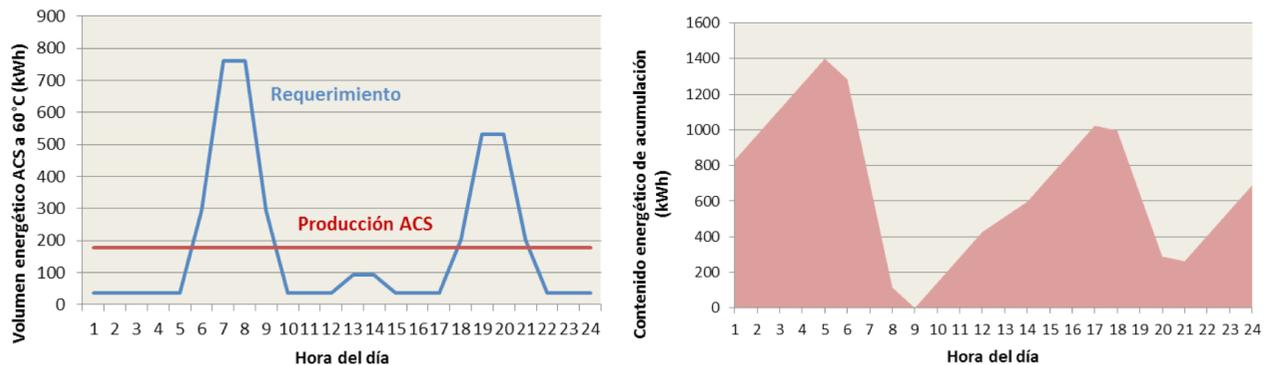


Figura 20: Volumen energético de ACS para el total del proyecto.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
(kWh)	117.641	120.244	120.244	122.846	125.449	126.750	128.052	126.750	125.449	124.148	121.545	119.983	1.479.100
(°C)	14,8	13,8	13,8	12,8	11,8	11,3	10,8	11,3	11,8	12,3	13,3	13,9	12,6

Tabla 8: Consumo mensual ACS del proyecto.

3.4.1.4 Requerimiento total de calor

Combinando los resultados obtenidos previamente, se genera la curva de demanda de calor del proyecto (Figura 21). Con el uso de un estanque de acumulación de inercia térmica, la potencia total del proyecto puede reducirse de 2325 kW a 1923 kW (reducción de un 16%). Para mayores volúmenes de inercia, la potencia se reduce linealmente a una razón de 4,65 veces. Así, para un volumen de 60 m³, la potencia se reduce a 1873 kW, mientras que con 80 m³, la potencia se reduce a 1789 kW. La red de tuberías ocupa un volumen importante de agua caliente (14 m³ de ida y 14 m³ de retorno), por lo cual también acumula inercia. Sin embargo, el uso de un estanque adicional ayuda a que la temperatura no llegue a niveles demasiado cercanos al flujo de retorno, lo que perjudicaría el desempeño de los intercambiadores.

Como se reporta más adelante, las pérdidas de calor en tuberías (primaria +secundaria), se estiman en 153 kW, equivalentes a un 6,6% de la potencia máxima calculada. Se estima que las pérdidas totales, considerando además los intercambiadores y el estanque de acumulación en la planta, debieran estar en el orden del 20% de la potencia. Con el uso de un acumulador y considerando las pérdidas de calor, la potencia máxima requerida por el sistema sería de 2454 kW.

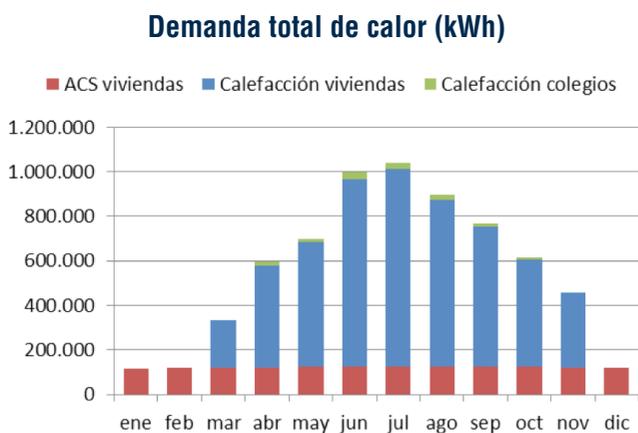
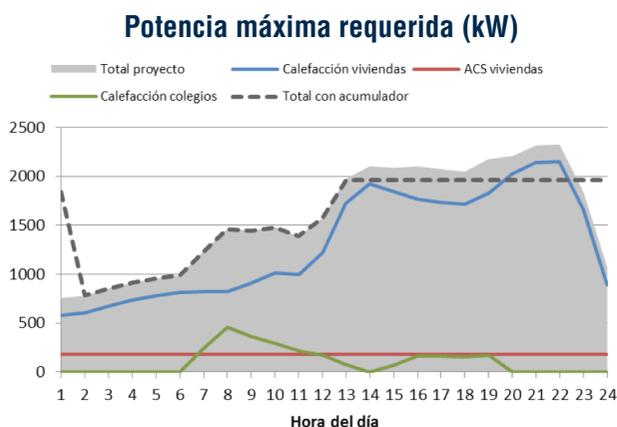


Figura 21: Consumo total de calor del proyecto

En la Tabla 9, se resumen los requerimientos de calor en calefacción y ACS para el proyecto. **El proyecto consume anualmente una cantidad de 6.758.733kWh de calor.**

Mes	Calefacción (kWh)					ACS	Total general
	Viviendas			Colegios	Total calefac.		
	Día	Noche	Total				
Ene						117.641	117.641
Feb						120.244	120.244
Mar	149.252	66.142	215.393		215.393	120.244	335.637
Abr	316.175	140.115	456.290	17.329	473.620	122.846	596.466
May	386.330	171.204	557.534	16.285	573.818	125.449	699.267
Jun	582.440	258.111	840.551	29.292	869.844	126.750	996.594
Jul	613.179	271.734	884.913	28.028	912.941	128.052	1.040.992
Ago	518.926	229.965	748.891	19.237	768.128	126.750	894.878
Sep	434.420	192.516	626.936	13.773	640.709	125.449	766.158
Oct	334.383	148.184	482.567	6.579	489.146	124.148	613.294
nov	232.847	103.188	336.035		336.035	121.545	457.580
Dic						119.983	119.983
Total	3.567.952	1.581.158	5.149.110	130.523	5.279.633	1.479.100	6.758.733

Tabla 9: Demanda térmica del proyecto (kWh)

3.4.2 Diseño de la Red de Distribución de Calor

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

El trazado de la red se dividió en un circuito primario y uno secundario, cada uno con líneas de ida y retorno (Figura 22). La red primaria distribuye el agua caliente a los distintos tramos de la red secundaria y ésta a los puntos de consumo final. La temperatura de diseño de las líneas de ida y retorno se establecen en 90°C y 50°C, respectivamente. La transferencia de calor a los puntos de consumo se realiza en forma indirecta, mediante intercambiadores de calor de placas instalados uno en cada vivienda o departamento. Estos intercambiadores van integrados en una unidad llamada estación de transferencia térmica (Figura 23), junto con los conductos que separan el primario (red de calefacción distrital) del secundario (red de distribución al interior de la vivienda), con líneas independientes para calefacción y ACS, y los elementos de control y seguridad. Generalmente, en esta unidad se integra también un medidor de caudal y de temperatura, que permiten realizar la contabilidad correcta de la energía efectivamente consumida por el cliente.





Figura 22: Diseño de red de distribución de agua caliente



Figura 23: Estación de transferencia de calor para viviendas

En el caso de edificios, es posible la instalación de una estación de mayor tamaño que separe el circuito de distribución dentro del edificio, del circuito de la red de calefacción distrital, con medidores independientes para cada departamento. También, es posible la instalación de acumuladores de ACS de gran tamaño y así evitar la instalación de estanques pequeños dentro de los departamentos.

Para efectos de distribuir correctamente los flujos de agua caliente a través de la red, se calcula, en cada tramo, el diámetro adecuado de las tuberías según especificaciones del fabricante (caída máxima de presión, presión máxima de operación, velocidad máxima de circulación, potencia térmica requerida). Existen básicamente dos clases de tuberías de distribución de agua caliente: flexibles (plásticas) y rígidas (acero). Para este proyecto, se eligió la instalación de tuberías flexibles de polietileno, por su facilidad de instalación y sus excelentes características mecánicas. Se trabajó con las especificaciones de las tuberías Ecoflex Twin (para diámetros DN=25-63mm) y Ecoflex Single (para diámetros DN=75-125mm). Estas tuberías están fabricadas en PE-Xa, vienen preaisladas con espuma de polietileno reticulado y envueltas en PE-80 resistente a golpes. Para diámetros superiores a 125 mm (límite de producción de tuberías plásticas), se consideraron tuberías de acero carbono Sch 40. Los cálculos del diseño de la red se reportan en las Tablas 10 y 11.

Tramo	Hogares cubiertos	Potencia (kW)	Caudal teórico (l/s)	Diámetro			Velocidad diseño (m/s)	Longitud tramo (m)	Pérdidas de carga		Pérdidas de calor	
				teórico (mm)	interno (mm)	nominal (mm)			(Pa/m)	(kPa)	(W/m)	(kW)
p1	646	2.325	14,4	97,6	102,2	125	1,75	400	240	96,1	51,5	20,60
p2	632	2.265	14,0	96,3	102,2	125	1,71	43	228	9,8	51,5	2,21
p3	618	2.205	13,6	95,0	102,2	125	1,66	29	216	6,3	51,5	1,49
p4	610	2.171	13,4	94,3	102,2	125	1,64	44	209	9,2	51,5	2,27
p5	602	2.137	13,2	93,5	102,2	125	1,61	8	203	1,6	51,5	0,41
p6	592	2.097	13,0	92,6	102,2	125	1,58	46	195	9,0	51,5	2,37
p7	582	2.042	12,6	91,4	102,2	125	1,54	112	185	20,8	51,5	5,77
p8	491	1.859	11,5	87,2	90,0	110	1,81	92	290	26,7	51,5	4,74
p9	451	1.679	10,4	82,9	90,0	110	1,63	120	237	28,4	51,5	6,18
p10	191	611	3,8	50,0	61,4	75	1,28	250	212	53,0	33,5	8,38
p11	25	290	1,8	34,5	51,4	63	0,86	193	116	22,4	25,0	4,83
p12	202	981	6,1	63,4	73,6	90	1,43	315	221	69,6	40,0	12,60
p13	193	935	5,8	61,9	73,6	90	1,36	227	200	45,5	40,0	9,08
p14	55	418	2,6	41,4	51,4	63	1,25	178	241	42,9	25,0	4,45
TOTAL	646	2.325	14,4					2.057		441,2		85,37

Tabla 10: Diseño de red primaria de distribución de agua caliente

Tramo	Hogares cubiertos	Potencia (kW)	Caudal teórico (l/s)	Diámetro			Velocidad diseño (m/s)	Longitud tramo (m)	Pérdidas de carga		Pérdidas de calor	
				teórico (mm)	interno (mm)	nominal (mm)			(Pa/m)	(kPa)	(W/m)	(kW)
s1	8	34	0,2	11,8	20,4	25	0,65	70	164	11,5	12,5	0,88
s2	6	26	0,2	10,2	20,4	25	0,49	100	92	9,2	12,5	1,25
s3	8	34	0,2	11,8	20,4	25	0,65	70	164	11,5	12,5	0,88
s4	6	26	0,2	10,2	20,4	25	0,49	100	92	9,2	12,5	1,25
s5	8	34	0,2	11,8	20,4	25	0,65	70	164	11,5	12,5	0,88
s6	8	34	0,2	11,8	20,4	25	0,65	70	164	11,5	12,5	0,88
s7	10	40	0,2	12,8	20,4	25	0,76	165	227	37,4	12,5	2,06
s8	5	25	0,2	10,2	20,4	25	0,48	55	90	5,0	12,5	0,69
s9	5	29	0,2	10,9	20,4	25	0,55	75	118	8,8	12,5	0,94
s10	40	180	1,1	27,1	40,8	50	0,85	440	142	62,3	20,0	8,80
s11	11	54	0,3	14,9	26,2	32	0,62	126	118	14,8	15,0	1,89
s12	17	59	0,4	15,6	26,2	32	0,68	270	142	38,3	15,0	4,04
s13	12	57	0,4	15,3	26,2	32	0,66	128	133	17,0	15,0	1,92
s14	80	180	1,1	27,2	40,8	50	0,85	56	142	8,0	20,0	1,12
s15	46	97	0,6	19,9	32,6	40	0,72	70	125	8,8	19,0	1,33
s16	12	70	0,4	16,9	26,2	32	0,80	156	195	30,4	15,0	2,34
s17	12	79	0,5	18,0	26,2	32	0,91	216	253	54,6	15,0	3,24
s18	1	230	1,4	30,7	40,8	50	1,09	70	233	16,3	20,0	1,40
s19	8	47	0,3	13,9	26,2	32	0,54	95	88	8,4	15,0	1,43
s20	4	20	0,1	9,1	20,4	25	0,38	117	58	6,8	12,5	1,46
s21	1	230	1,4	30,7	40,8	50	1,09	50	233	11,6	20,0	1,00
s22	3	29	0,2	10,9	20,4	25	0,55	98	118	11,6	12,5	1,23
s23	8	88	0,5	19,0	32,6	40	0,65	214	104	22,3	19,0	4,07
s24	11	65	0,4	16,3	26,2	32	0,75	164	169	27,8	15,0	2,46
s25	112	314	1,9	35,9	51,4	63	0,94	57	137	7,8	25,0	1,43
s26	18	110	0,7	21,2	32,6	40	0,82	445	164	72,9	19,0	8,46
s27	12	90	0,6	19,2	32,6	40	0,67	216	109	23,6	19,0	4,10
s28	8	62	0,4	16,0	26,2	32	0,72	141	157	22,1	15,0	2,12
s29	9	82	0,5	18,3	26,2	32	0,94	130	271	35,2	15,0	1,95
s30	8	73	0,5	17,3	26,2	32	0,84	115	214	24,6	15,0	1,73
Total	497							4.149	4.579	640,5		67,18

Tabla 11: Diseño de red secundaria de distribución de agua caliente

En la Tabla 12 se presenta la potencia requerida para las bombas que impulsan el agua de la red

Pérdida de carga en tuberías	1081,7	kPa
	10,82	bar
Pérdida de carga en otros elementos de la red (estimación)	15,00	bar
Pérdida de carga total	25,82	bar
Presión del sistema	6,00	bar
Presión total requerida por bombas	31,82	bar
Caudal de la red	14,38	l/s
Potencia teórica sistema bombas	60,98	HP
	45,74	kW
Potencia comercial sistema bombas	50,00	kW
	65,00	HP
Potencia total bombas seleccionadas (especificaciones técnicas)	85,00	kW

Tabla 12: Cálculo potencia del sistema de bombas

Desde la estación de transferencia hacia el interior de los edificios y viviendas, la red de distribución se divide en un circuito para calefacción y otro para ACS, según se muestra en la Figura 24.

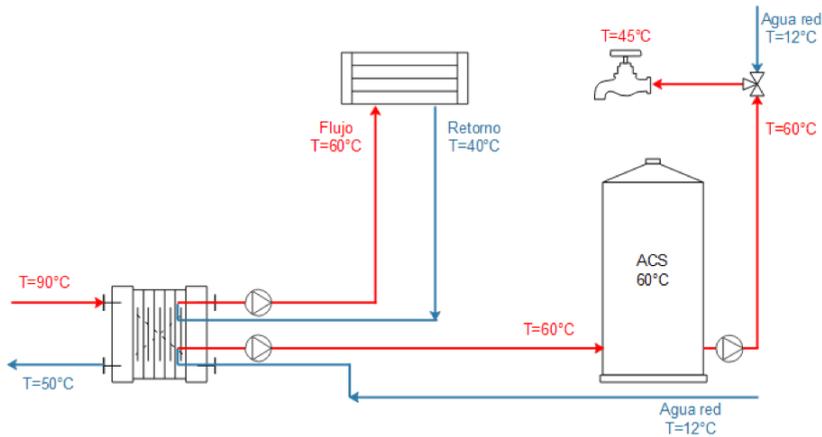


Figura 24: Esquema de funcionamiento red de distribución al interior de los edificios y viviendas

4

Estimación de la Reducción de Emisiones de Material Particulado

En esta sección, se estima el potencial de reducción de emisiones atmosféricas debido al aprovechamiento de calor residual de la industria para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) de actuales viviendas y edificios de la comuna de San Pedro de la Paz. El análisis considera la evaluación del cambio en las emisiones de MP10, MP2,5 y otros contaminantes atmosféricos de interés, entre ellos gases de efecto invernadero (CO₂). El cambio en las emisiones de material particulado y otros contaminantes del aire se debe al desplazamiento de leña y otros combustibles, gracias al aprovechamiento de calor residual de la industria para calefacción y ACS, en el grupo de viviendas y departamentos que conforman el proyecto descrito en las secciones anteriores y que se resumen en la Figura 25.



Figura 25. Plano de la ubicación de la Planta industrial y las viviendas evaluadas para el aprovechamiento de calor residual de la industria para sistemas de calefacción

En el análisis se consideraron viviendas en condominios, torres de edificios y colegios, que en total suman 257 viviendas, 388 departamentos y 2 colegios.

En el estudio se realizó un levantamiento de información mediante encuestas aplicadas en terreno durante el mes de abril de 2017 (ver cuestionario de la encuesta en Anexo 3) a las viviendas ubicadas al oriente de la autopista, correspondiente a las viviendas más cercanas a la planta industrial, como se muestra en la Figura 26. El muestreo fue exploratorio, no probabilístico.

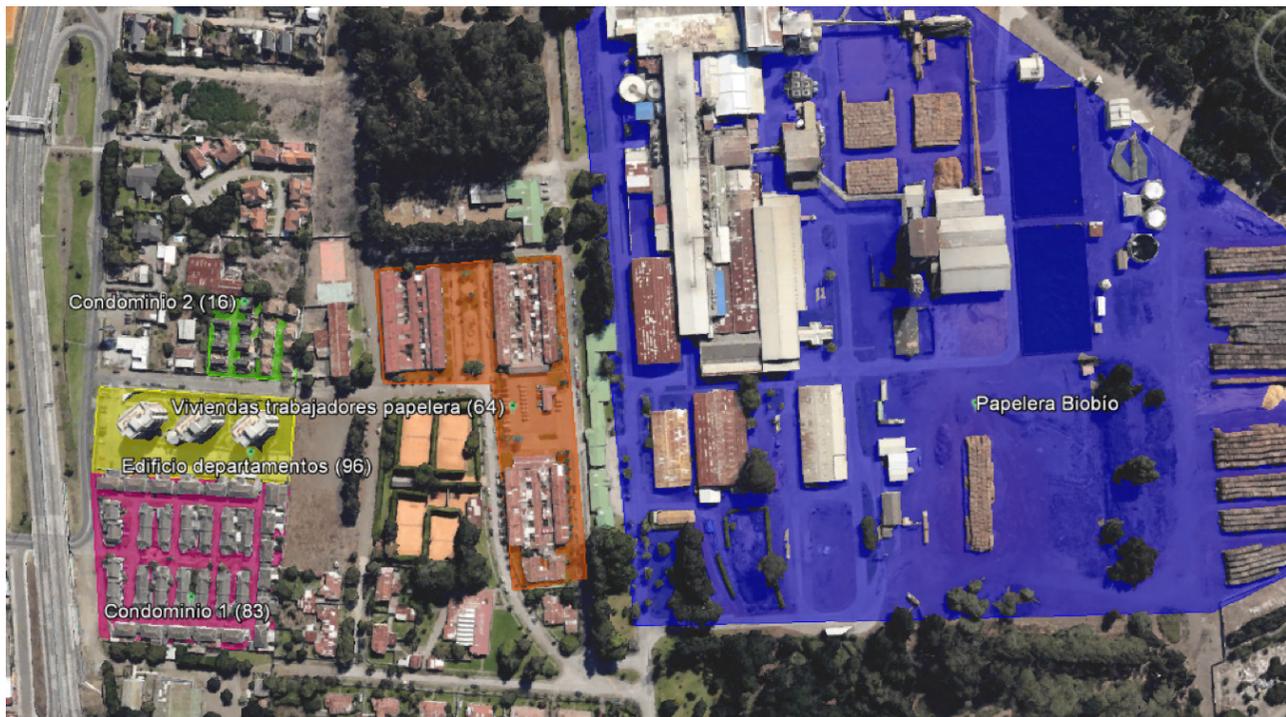


Figura 26. Plano de la ubicación de viviendas inmediatas a la Planta industrial evaluadas para el aprovechamiento de calor residual de la industria para sistemas de calefacción

La información de la penetración de calefactores de leña y el consumo de leña fueron determinados a través de las encuestas aplicadas en terreno y datos de la CASEN 2013. Los escenarios evaluados se describen brevemente a continuación:

Escenario 1 (E1) considera el potencial de reducción de emisiones atmosféricas mediante el aprovechamiento de calor residual de la industria para calefacción residencial (Calefacción distrital o comunitaria) con el propósito de desplazar leña.

Escenario 2 (E2) considera el potencial de reducción de emisiones atmosféricas mediante el aprovechamiento de calor residual en la industria para alimentar sistemas de calefacción basados en energéticos distintos a la leña (gas) junto con un sistema de agua caliente sanitaria (ACS).

4.1 Metodología de Evaluación del Impacto en las Emisiones Atmosférica

A continuación, se describen las consideraciones utilizadas para la evaluación de los distintos escenarios de intervención de los sistemas de calefacción en las viviendas de la comuna de San Pedro de la Paz. El universo de viviendas considerado en la evaluación correspondió al número de viviendas que se proyectó estarían conectadas a la red distrital, de acuerdo al diseño de la red descrito en secciones anteriores, esto con el fin de evaluar sólo la reducción de emisiones como consecuencia de la implementación del proyecto. Se considera el uso de los actuales sistemas de calefacción en las casas y departamentos intervenidos. En la Tabla 13 se indican las condiciones actuales de los sistemas de calefacción de las viviendas ubicadas al oriente de la autopista. Esta información fue levantada mediante encuestas aplicadas en terreno.

Tabla 13. Sistemas de calefacción de las viviendas ubicadas al oriente de la autopista

Tipología vivienda	Nº viviendas	Sistema de calefacción predominante	Energético
Vivienda 1	44	Combustión lenta cámara simple	Leña, electricidad
Vivienda 2	10	Chimenea, equipos eléctricos	Leña, electricidad
Vivienda 3	5	Chimenea, equipos eléctricos	Leña, electricidad
Vivienda 4	5	Chimenea, equipos eléctricos	Leña, electricidad
Vivienda 5	14	Combustión lenta + templador	Leña
Vivienda 6	26	Combustión lenta + templador	Leña
Vivienda 7	46	Caldera individuales	GN, LPG
Vivienda 8	46	Caldera individuales	GN, LPG

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta de terreno

La penetración de leña y el consumo promedio de combustible para los distintos grupos de viviendas analizadas se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Penetración de leña y consumo promedio de combustibles en las viviendas ubicadas al oriente de la autopista

Tipología vivienda	Penetración leña	Consumo promedio leña (Kg/año-vivienda)	Consumo promedio gas
Vivienda 1	71%	740	206 (*)
Vivienda 2	67%	995	180 (**)
Vivienda 3	67%	995	172 (*)
Vivienda 4	67%	995	206 (*)
Vivienda 5	88%	1.394	155 (**)
Vivienda 6	88%	1.394	168 (**)
Vivienda 7	0	-	235 (*)
Vivienda 8	0	-	235 (*)

(*) GLP unidades (kg/año-vivienda) (**) GN unidades de (m³/ año-vivienda)

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta de terreno

Para el caso de las viviendas de los condominios y departamentos ubicados al otro lado de la autopista (ver Figura 26) se consideró la penetración promedio de calefactores a leña y el consumo promedio de leña según la CASEN 2013 y acorde al tamaño de la vivienda en San Pedro de la Paz (Tabla 15).

Tabla 15. Penetración de leña y consumo promedio de leña según tamaño de vivienda en San Pedro de la Paz

Parámetro	< 30 m ²	30 a 40 m ²	41 a 60 m ²	61 a 100 m ²	101 a 150 m ²	>150 m ²
Penetración leña, %	51%	52%	50%	67%	50%	74%
Consumo leña, kg/año-hogar	1.033	770	555	896	1.299	3.757

Fuente: CASEN 2013

Con la información de la penetración y consumo de leña en los hogares, según tamaño de vivienda y los consumos promedio de gas para ACS se estimó el consumo de leña y gas (GLP) en los condominios, edificios residenciales y colegios ubicados al costado poniente de la autopista. El detalle del número de viviendas, penetración de leña y consumo de energéticos se muestra en la Tabla 16.

Para el caso de los colegios, se determinó mediante entrevista que el Colegio Concepción de San Pedro utiliza una caldera de calefacción de 200.000 kcal/h de potencia y como energético consume kerosene con un promedio de 8.165 lt/año. Para el caso del colegio Almondale, y dado que no se contaba con la información del sistema de calefacción y energético utilizado, se consideró el mismo sistema de calefacción y combustible.

Tabla 16. Penetración de leña y consumo promedio de combustibles en las viviendas localizadas al poniente de la autopista

Tipología vivienda	Nº viviendas	Sup viv. (m ²)	Penetración leña	Consumo promedio leña	Consumo promedio gas
				(kg/año-vivienda)	
Vivienda 9	58	75	0	-	129 (**)
Vivienda 10	80	100	0	-	172 (*)
Vivienda 11	46	75	0	-	129 (*)
Vivienda 12	11	140	50%	1,299	241 (*)
Vivienda 13	9	96	67%	896	165 (*)
Vivienda 14	8	96	67%	896	165 (*)
Vivienda 15	12	90	67%	896	155 (*)
Vivienda 16	12	108	50%	1,299	186 (*)
Vivienda 17	7	128	50%	1,299	220 (*)
Vivienda 18	5	140	50%	1,299	241 (*)
Vivienda 19	8	148	50%	1,299	254 (*)
Vivienda 20	4	120	50%	1,299	206 (*)
Vivienda 21	3	325	74%	3,757	558 (*)
Vivienda 22	8	241	74%	3,757	414 (*)
Vivienda 23	11	147	74%	3,757	253 (*)
Vivienda 24	112	125	0	-	215 (*)
Vivienda 25	18	250	74%	3,757	430 (*)
Vivienda 26	12	170	74%	3,757	292 (*)
Vivienda 27	8	252	74%	3,757	433 (*)
Vivienda 28	9	210	74%	3,757	361 (*)
Vivienda 29	8	210	74%	3,757	361 (*)

(*) GLP unidades (kg/año-vivienda) (**) GN unidades de (m³/ año-vivienda) Fuente: Elaboración propia

Los factores de emisión de contaminantes del aire considerado para el análisis corresponden a valores propuestos en el estudio SICAM 2015, que establece el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Concepción Metropolitano. En la Tabla 17 se muestran los factores de emisión, según el rango de contenido de humedad de la leña, la tecnología del equipo y condiciones de operación. Se puede apreciar que las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) son sensibles al contenido de humedad de la leña y la operación del equipo de combustión. Cabe señalar, que los quipos de combustión a leña que se encuentran en la mayoría de los hogares operan mal cuando se les restringe la entrada de aire primario. Este efecto es mayor para los equipos de combustión lenta de cámara simple donde la restricción del aire primario conlleva a emisiones elevadas de material particulado y

monóxido de carbono. En el análisis se consideró que el 14% de las viviendas que utiliza calefactores de tipo combustión lenta no regula en forma adecuada el control de tiraje y aire primario de combustión del equipo.

Para efectos de la estimación de las emisiones, se determinó que Vivienda 1 utilizan calefactores de combustión lenta de cámara simple; Vivienda 5 y Vivienda 6 utilizan chimeneas de hogar abierto; Vivienda 3, Vivienda 4 y el resto de los condominios, utilizan principalmente calefactores de combustión lenta cámara simple + templador y con un 30% de mala operación de la regulación de aire.

Tabla 17. Factor de emisión de contaminantes del aire para chimeneas, calefactores de combustión lenta cámara simple y cámara simple + templador

FE chimenea hogar abierto, g/kg leña								
Rango %H leña	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃	CO ₂
0-20	10,1	9,2	126,3	1,3	114,5	0,2	1,1	1.112,20
20-30	19,3	17,9	263,6	1,3	365,3	0,2	1,1	680,5
30-40	28,5	26,6	401	1,3	1033,2	0,2	1,1	50,4
Mala utilización ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
FE calefactor cámara simple, g/kg leña								
Rango %H leña	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃	CO ₂
0-20	6,2	5,8	207,1	1,4	26,5	0,2	1,1	1.129,30
20-30	9	8,4	325,1	1,4	84,1	0,2	1,1	734,9
30-40	11,8	11	443,1	1,4	239,1	0,2	1,1	159,1
Mala utilización ¹	45,8	42,6	584,7	1,4	241,2	0,2	1,1	159,1
FE calefactor cámara simple + templador, g/kg leña								
Rango %H leña	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃	CO ₂
0-20	5,2	4,9	129,1	1,4	26,5	0,2	1,1	1.129,30
20-30	8,1	7,6	183,8	1,4	84,1	0,2	1,1	734,9
30-40	11	10,2	238,5	1,4	239,1	0,2	1,1	159,1
Mala utilización ¹	29,5	27,5	400,8	1,4	241,2	0,2	1,1	159,1

¹Operación inadecuada del control de aire primario de combustión

Fuente: SICAM 2015

La estacionalidad del consumo de leña en el año ocurre principalmente entre los meses de mayo y agosto, mientras que en los meses de verano no se registraron consumos de leña. Para el caso del consumo de gas, también se observó un mayor consumo entre los meses de mayo y agosto.

Para el análisis se considera dos niveles de humedad para la leña utilizada en los hogares donde en uno de ellos considera que el 70% de la leña utilizada se considera seca (10 % leña húmeda, 20% semi-húmeda y 70% seca) y otra condición donde exista una mayor proporción de leña húmeda (20 % leña húmeda, 30% semi-húmeda y 50% seca).

Para el caso del Escenario 2, se consideró el potencial de reducción de emisiones generadas por el desplazamiento de energéticos para calefacción distintos a la leña y para calentar el agua caliente sanitaria (ACS). Esto se lograría mediante el aprovechamiento de calor residual de la industria para alimentar un sistemas de calefacción distrital o comunitaria que considere la entrega de un servicio de ACS. Para el análisis se utilizaron factores de emisión de la US EPA para la combustión externa de gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y kerosene, dado que éste energético es el más utilizado entre los hogares a intervenir (Tabla 18).

Tabla 18. Factor de emisión de contaminantes para las calderas y calefón

Combustible	FE caldera / calefont gas, g/ m ³						
	MP10	MP2.5	CO	NOx	TOC	SO ₂	CO ₂
Gas natural, g/m ³	0,12	0,12	1,34	4.480,00	0,09	0,01	1.961
Gas licuado de petróleo (GLP), g/kg	0,06	0,05	0,40	1,98	0,16	0,25	2.820
Kerosene, g/L	0,28	0,26	0,60	2,16	0,30	4,31	2.527

Fuente: AP-42, US EPA

4.2 Resultados de la Evaluación del Impacto en las Emisiones Atmosféricas

A continuación se presentan los resultados de los consumos de combustibles y tasas de emisión de los contaminantes del aire para cada uno de los escenarios evaluados para la intervención de las viviendas de la comuna de San Pedro de la Paz.

4.2.1 Consumo de Combustibles y Emisiones de Contaminantes del Aire.

4.2.1.1 Escenario 1

Las estimaciones de las emisiones atmosféricas para los actuales sistemas de calefacción de las viviendas cercanas a la planta de Papeles Bio Bio y que utilizan leña para calefacción se muestran en la Tabla 19. El valor considera la tasa de penetración de calefactores a leña en los hogares, la proporción de tecnologías de combustión a leña y el uso del sistema de regulación de aire según corresponde. Se estimó que para la intervención de los sistemas de calefacción de las viviendas de la papelera y los condominios, se estaría desplazando aproximadamente 350,1 ton/año de leña para calefacción.

Como consecuencia del desplazamiento de leña para calefacción residencial bajo una condición de leña principalmente seca (70% seca), se estaría dejando de emitir entre 4,69 ton MP10/año, 4,33 ton MP2,5/año y 40,48 ton COV/año, este último precursor de material particulado secundario. Cabe recordar, que actualmente la comuna de San Pedro de la Paz se encuentra entre las 10 comunas declaradas saturadas debido a los elevados niveles ambientales de la fracción fina de material particulado (MP2,5).

Tabla 19. Reducción de emisiones atmosféricas por el desplazamiento de calefacción a leña bajo el supuesto de que la leña se encuentra más seca.

Tipología vivienda	Casa que	Consumo leña (ton/año)	Emisiones (kg/año)					
	usan leña		MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx
Vivienda 1	32	23,68	401,1	373,7	7.977,80	33,2	2.480,70	4,7
Vivienda 2	7	6,97	118	109,9	2.346,50	9,8	729,7	1,4
Vivienda 3	5	6,97	117,2	88,4	1.263,50	9,1	1.788,40	1,4
Vivienda 4	5	6,97	117,2	88,4	1.263,50	9,1	1.788,40	1,4
Vivienda 5	10	9,95	120,8	112,9	2.123,70	13,9	1.042,40	2
Vivienda 6	18	17,91	120,8	112,9	2.123,70	13,9	1.042,40	2
Vivienda 12	11	7,79	103,7	96,8	1.760,90	10,9	887,4	1,6
Vivienda 13	9	6,27	83,4	77,9	1.417,00	8,8	714,1	1,3
Vivienda 14	8	5,38	71,5	66,8	1.214,60	7,5	612,1	1,1
Vivienda 15	12	8,06	107,3	100,2	1.821,90	11,3	918,1	1,6
Vivienda 16	12	7,79	103,7	96,8	1.760,90	10,9	887,4	1,6
Vivienda 17	7	5,2	69,1	64,5	1.173,90	7,3	591,6	1
Vivienda 18	5	3,9	51,8	48,4	880,6	5,5	443,8	0,8
Vivienda 19	8	5,2	69,1	64,5	1.173,90	7,3	591,6	1
Vivienda 20	4	2,6	34,6	32,3	587	3,6	295,8	0,5
Vivienda 21	3	11,27	149,9	140	2.546,40	15,8	1.283,30	2,3
Vivienda 22	8	22,54	299,9	280	5.092,80	31,6	2.566,50	4,5
Vivienda 23	11	33,81	449,8	420	7.639,20	47,3	3.849,80	6,8
Vivienda 25	18	52,6	699,7	653,4	11.883,70	73,6	5.988,80	10,5
Vivienda 26	12	33,81	449,8	420	7.639,20	47,3	3.849,80	6,8
Vivienda 27	8	22,54	299,9	280	5.092,80	31,6	2.566,50	4,5
Vivienda 28	9	26,3	349,8	326,7	5.941,60	36,8	2.994,30	5,3
Vivienda 29	8	22,54	299,9	280	5.092,80	31,6	2.566,50	4,5
Total	230	350,05	4.688,00	4.334,60	79.817,90	477,5	40.479,40	68,4

Fuente: Elaboración Propia

Ahora, si se considera que la leña tiene una mayor contenido de humedad (20 % leña húmeda, 30% semi-húmeda y 50% seca), el potencial de reducción de emisiones atmosféricas por el desplazamiento de leña sería aún mayor (Tabla 20).

Como consecuencia del desplazamiento de leña para calefacción residencial bajo una condición de uso de leña con mayor contenido de humedad, se estaría dejando de emitir entre 4,96 ton MP10/año, 4,56 ton MP2,5/año y 48,386 ton COV/año, este último precursor de material particulado secundario.

Tabla 20. Reducción de emisiones atmosféricas por el desplazamiento de calefacción a leña bajo el supuesto de que la leña se encuentra con un mayor contenido de humedad

Tipología vivienda	Casa que usan leña	Consumo leña (ton/año)	Emisiones (kg/año)					
			MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx
Vivienda 1	32	23,68	416,1	387,5	8.606,50	33,2	2.960,60	4,7
Vivienda 2	7	6,97	122,4	114	2.531,40	9,8	870,8	1,4
Vivienda 3	5	6,97	150,5	106,6	1.550,80	9,1	2.603,70	1,4
Vivienda 4	5	6,97	150,5	106,6	1.550,80	9,1	2.603,70	1,4
Vivienda 5	10	9,95	127,3	118,8	2.246,10	13,9	1.244,00	2
Vivienda 6	18	17,91	127,3	118,8	2.246,10	13,9	1.244,00	2
Vivienda 12	11	7,79	108,4	101,2	1.850,40	10,9	1.034,80	1,6
Vivienda 13	9	6,27	87,2	81,4	1.489,10	8,8	832,7	1,3
Vivienda 14	8	5,38	74,8	69,8	1.276,30	7,5	713,8	1,1
Vivienda 15	12	8,06	112,2	104,7	1.914,50	11,3	1.070,70	1,6
Vivienda 16	12	7,79	108,4	101,2	1.850,40	10,9	1.034,80	1,6
Vivienda 17	7	5,2	72,3	67,4	1.233,60	7,3	689,9	1
Vivienda 18	5	3,9	54,2	50,6	925,4	5,5	517,5	0,8
Vivienda 19	8	5,2	72,3	67,4	1.233,60	7,3	689,9	1
Vivienda 20	4	2,6	36,1	33,7	616,8	3,6	344,9	0,5
Vivienda 21	3	11,27	156,8	146,3	2.675,90	15,8	1.496,50	2,3
Vivienda 22	8	22,54	313,6	292,6	5.351,80	31,6	2.992,90	4,5
Vivienda 23	11	33,81	470,4	438,8	8.027,60	47,3	4.489,40	6,8
Vivienda 25	18	52,6	731,7	682,7	12.487,90	73,6	6.983,70	10,5
Vivienda 26	12	33,81	470,4	438,8	8.027,60	47,3	4.489,40	6,8
Vivienda 27	8	22,54	313,6	292,6	5.351,80	31,6	2.992,90	4,5
Vivienda 28	9	26,3	365,8	341,3	6.243,70	36,8	3.491,70	5,3
Vivienda 29	8	22,54	313,6	292,6	5.351,80	31,6	2.992,90	4,5
Total	230	350,05	4.956,00	4.555,30	84.639,80	477,5	48.385,00	68,4

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2 Escenario 2

La estimación del potencial de reducción de emisiones atmosféricas para el recambio de los actuales sistemas de calefacción y servicio de agua caliente sanitaria (ACS) para las 645 viviendas y los 2 colegios en el radio de acción de la Planta Industrial Papeles Bío Bío se muestra en la Tabla 21. El valor considera un ajuste para el gas que se pueda utilizar para la cocción de alimentos. Se estimó que para la intervención de los sistemas de calefacción y ACS en las viviendas y colegios se estaría desplazando aproximadamente 37.663 m³/año de gas natural, 97.033 kg/año de gas licuado de petróleo y 16.330 lt/año de kerosene.

Como consecuencia del desplazamiento de gas natural, GLP y kerosene para calefacción residencial y agua caliente sanitaria se estaría dejando de emitir adicionalmente 0,01 ton MP10/año, 0,01 ton MP2,5/año, 0,30 ton NOx/año, 100,25 ton SO₂/año y 384,76 ton CO₂/año. Si bien, la reducción de material particulado no es significativa por el desplazamiento de estos energéticos, se genera una reducción importante de dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NOx), siendo estos últimos vinculados a contaminantes responsables del cambio del clima (CO₂) y en el caso del NOx, éste es responsable de la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida.

Finalmente, el potencial de reducción de emisiones atmosféricas de contaminantes del aire debido al desarrollo del proyecto de aprovechamiento del calor residual de la planta de Papeles Bío Bío, para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) de viviendas cercanas al complejo industrial podría ser de hasta 4,97ton MP10/año, 4,57 ton MP2,5/año y 48,60 ton COV/año, mientras que lograría una reducción de 406,26 ton CO₂/año.

Tabla 21. Reducción de emisiones atmosféricas por el desplazamiento de combustibles para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS)

Tipología vivienda / establecimiento	N°	Consumo GN, GLP, kerosene	Emisiones (kg/año)						
			MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂	CO ₂
Vivienda 1	44	6.812 (*)	0,83	0,82	9,16	30,52	0,6	0,07	13.360
Vivienda 2	10	1.804 (**)	0,1	0,09	0,73	3,58	0,29	0,45	5.088
Vivienda 3	5	581 (*)	0,07	0,07	0,78	2,6	0,05	0,6	1.139
Vivienda 4	5	629 (*)	0,08	0,08	0,85	2,82	0,06	1,34	1.233
Vivienda 5	14	2.405 (**)	0,14	0,13	0,97	4,77	0,38	0,01	6.783
Vivienda 6	26	5.361 (**)	0,31	0,28	2,16	10,63	0,85	0,01	15.117
Vivienda 7	46	1.081 (*)	0,63	0,56	4,36	21,43	1,72	2,7	30.484
Vivienda 8	46	1.081 (*)	0,63	0,56	4,36	21,43	1,72	2,7	30.484
Vivienda 9	58	7.474 (*)	0,91	0,9	10,05	33,48	33,48	0,66	14.658
Vivienda 10	80	13.745 (**)	0,8	0,72	5,54	27,25	27,25	0,37	38.762
Vivienda 11	46	5.928 (**)	0,34	0,31	2,39	11,75	11,75	0,33	16.716
Vivienda 12	11	2.646 (**)	0,15	0,14	1,07	5,25	5,25	0,46	7.462
Vivienda 13	9	1.485 (**)	0,09	0,08	0,6	2,94	2,94	0,56	4.186
Vivienda 14	8	1.320 (**)	0,08	0,07	0,53	2,62	2,62	0,38	3.721
Vivienda 15	12	1.856 (**)	0,11	0,1	0,75	3,68	3,68	0,3	5.233
Vivienda 16	12	2.227 (**)	0,13	0,12	0,9	4,41	4,41	0,51	6.279
Vivienda 17	7	1.539 (**)	0,09	0,08	0,62	3,05	3,05	0,21	4.341
Vivienda 18	5	1.203 (**)	0,07	0,06	0,48	2,38	2,38	0,42	3.392
Vivienda 19	8	2.034 (**)	0,12	0,11	0,82	4,03	4,03	0,83	5.737
Vivienda 20	4	825 (**)	0,05	0,04	0,33	1,64	1,64	0,69	2.326
Vivienda 21	3	1.675 (**)	0,1	0,09	0,68	3,32	3,32	1,93	4.724
Vivienda 22	8	3.313 (**)	0,19	0,17	1,34	6,57	6,57	0,88	9.342
Vivienda 23	11	2.778 (**)	0,16	0,14	1,12	5,51	5,51	0,87	7.835
Vivienda 24	112	24.055 (**)	1,39	1,25	9,7	47,69	47,69	0,81	67.834
Vivienda 25	18	7.732 (**)	0,45	0,4	3,12	15,33	15,33	0,72	21.804
Vivienda 26	12	3.505 (**)	0,2	0,18	1,41	6,95	6,95	3,44	9.884
Vivienda 27	8	3.464 (**)	0,2	0,18	1,4	6,87	6,87	1,48	9.768
Vivienda 28	9	3.247 (**)	0,19	0,17	1,31	6,44	6,44	0,07	9.158
Vivienda 29	8	2.887 (**)	0,17	0,15	1,16	5,72	5,72	6,01	8.140
Colegio Concepción San Pedro	1	8,17 (***)	2,32	2,09	4,89	17,61	2,44	35,22	20.635
Colegio Almondale	1	8,17 (***)	2,32	2,09	4,89	17,61	2,44	35,22	20.635
Total	645	-	13,41	12,23	78,45	339,87	217,43	100,25	406.260

(*) GN (m³/año) (**) GLP (kg/año) (***) Kerosene (m³/año)
Fuente: Elaboración Propia

Modelo de Negocio

5

El modelo de negocio a implementar es conocido como de servicios energéticos o venta de ahorro energético, y los prestadores son empresas tipo ESE (empresas de servicios energéticos) o ESCO (energy saving companies). Este modelo de negocio consta básicamente de 3 etapas dentro de la cadena de valor (Figura 27). Dependiendo de la fuente de producción de calor, puede existir una etapa previa, que consiste en la logística de provisionamiento. Es importante definir estas etapas, porque pueden intervenir agentes distintos en cada una, lo que da lugar a un negocio compuesto por sub-unidades de negocio, con transacciones internas entre ellas. Así, la producción de calor pudiera ser asumida por una empresa distinta de la que asuma la distribución, mientras que otra pudiera gestionar la prestación del servicio al consumidor final. O bien, una empresa pudiera integrarse hacia más de una de las etapas, pudiendo eventualmente asumir la cadena completa (integración completa).



Figura 27: Secuencia general de un proyecto de venta energética

Adicionalmente al modelo de venta energética descrito anteriormente, pueden generarse otros beneficios económicos (más allá de las externalidades intangibles). En el caso particular de este proyecto, su implementación permitiría eliminar las emisiones atmosféricas de un número importante de fuentes fijas domiciliarias, lo que resulta de interés para otras empresas que necesitan invertir en planes de compensación de emisiones atmosféricas, dándose origen a una cuarta fase del modelo de negocio.

5.1 Producción de Calor

5.1.1 Propuesta de valor y clientes

La propuesta de valor consiste en la recuperación de un residuo industrial (gases de combustión), no valorizado actualmente por la empresa productora (Papeles Bío Bío), para ser transformado (mediante un equipo de transferencia gas-agua) y traspasado a una empresa distribuidora. El calor es producido por Papeles Bío Bío para las necesidades de sus propios procesos. El calor que resulta como residuo, será cedido, sin costo, a una empresa ESCO (que puede ser la misma empresa productora), quien explotará el negocio de distribuirlo a los usuarios finales. El beneficio de Papeles Bío Bío viene de la venta del plan de compensación de emisiones (se describe más adelante), además de otras externalidades positivas (p.e. mejoramiento de imagen corporativa, difusión de su marca, relación con el entorno).

5.1.2 Asociados y actividades clave

Las partes principales dentro de este negocio son la empresa productora que cederá el calor residual, y la empresa ESCO que asumirá la inversión y los costos de operación para la recuperación y distribución de calor. La ESCO tendrá especial interés en rentabilizar el negocio de la venta de calor, por lo cual hará gestiones comerciales para la conexión de nuevos proyectos inmobiliarios de edificios (alta densidad de consumo y competencia contra sustitutos caros). El sector de Huertos Familiares se caracteriza por su gran actividad inmobiliaria. Además, estará interesada en evaluar la instalación de nuevas centrales de calor en ese sector, para así inyectar más calor a la red y ampliar la cobertura del negocio. Centrales de biomasa son una excelente alternativa, además de que existen varias ESCO en el negocio de la bioenergía.

Un actor relevante es, sin duda, el sector público, a través de sus distintas instituciones. CORFO, el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Energía son actores siempre interesados en el desarrollo de proyectos que apunten a sistemas energéticos más eficientes y limpios. Otros organismos de desarrollo como el GORE y las municipalidades, pueden cooperar con recursos (FNDR) o apoyo organizacional (planes de urbanización). También existen actores del mundo público-privado que buscan fomentar el desarrollo social en conjunción con las nuevas tecnologías (Desarrolla Bío Bío, CPCC) y pueden prestar apoyo importante para llegar a las comunidades y acercar al mundo empresarial.

5.1.3 Modelo de ingresos y costos

El modelo de transacción consiste en la cesión del calor residual por parte de Papeles Bío Bío, en forma gratuita, a cambio de la posibilidad de negociar el proyecto de compensación de emisiones con otra empresa interesada. La inversión en equipos e infraestructura para el aprovechamiento del calor residual de la planta, así como los costos de operación del sistema de recuperación y distribución, serán asumidos por la empresa ESCO. Por lo tanto, no habrá ningún costo asociado para Papeles Bío Bío (salvo que decida integrarse hacia la distribución de calor). Los ingresos vienen por la venta del calor (agua caliente) para su distribución a clientes finales.

Eventualmente, Papeles Bío Bío pudiera entrar al negocio de la venta de calor industrial, vendiendo vapor a la empresa ESCO. También está la alternativa de que Papeles Bío Bío abra una nueva línea de negocio para la distribución de calor residencial (integración hacia la distribución de calor), pudiendo subcontratar los servicios de otras empresas o asumiendo internamente dichas labores.

5.2 Distribución de Calor

5.2.1 Propuesta de valor y clientes

La propuesta de valor consiste en la recuperación de un residuo industrial (gases de combustión) para su aprovechamiento como fuente de energía limpia y eficiente, en el suministro de calefacción y ACS a un amplio sector residencial, mediante la operación de un sistema de distribución subterránea de agua caliente. Con esto, se pretende reducir los niveles de MP10 y MP2,5 que afectan a la conurbación del Concepción Metropolitano y mejorar la calidad de vida de la población, a la vez que se ofrece un servicio más barato y confortable de calor residencial.

5.2.2 Asociados y actividades clave

Existen empresas tipo ESCO en Chile que pudieran querer operar el sistema de distribución, aunque, por lo general, tienen su negocio en la producción de calor, integrándose hacia la distribución sólo para estimular la venta. Sin embargo, si ya tienen las capacidades instaladas y el negocio renta, habrá de todas maneras un estímulo. Además, nada impide que ellas mismas puedan generar calor adicional para inyectar a la red y así expandir la cobertura. Por lo mismo, es conveniente sobredimensionar la red de distribución primaria, en caso de haber planes de expansión. Además de estas empresas que ya están operando en el mercado chileno, es esperable que la identificación de nuevas oportunidades de negocio en Chile atraiga a nuevos operadores internacionales.

La empresa ESCO será responsable de la instalación de la infraestructura de distribución de agua caliente desde la planta hasta los puntos de consumo final, y de la correcta operación del sistema. El alcance de sus responsabilidades va desde la recuperación del calor industrial en la planta de Papeles Bío Bío (instalación, mantención y operación de la unidad de recuperación de calor) hasta la conexión de la red con el punto de consumo final (conexión a las estaciones de transferencia). La transferencia de calor se realiza por contacto indirecto (intercambiador de calor) en los puntos de consumo, por lo cual no se requieren permisos sanitarios por manejo de agua potable. Los usuarios finales serán responsables de la calidad del agua que consuman y deberán, por lo tanto, seguir el protocolo indicado para evitar el contagio de Legionella por agua estancada a temperaturas inferiores a 50°C en el acumulador.

La conexión de un cliente a la red consiste en la instalación de una estación de transferencia indicada para la potencia requerida por esa vivienda (cuyo cálculo será realizado por la empresa ESCO) y la conexión a la red de calefacción distrital. También incluye un servicio post venta en caso de cualquier funcionamiento inadecuado debido a problemas en la instalación. La empresa ESCO entregará la estación de transferencia conectada a los puntos de distribución interna dentro de la vivienda, cuyo costo será descontado de las tarifas mensuales en el cargo fijo. El servicio de conexión a la red no incluye la instalación de elementos de distribución de calor al interior de las viviendas (radiadores, losa radiante, muros radiantes, fan coils, otros), el cual puede ser ofrecido por la ESCO a un costo adicional. También puede evaluarse el arriendo de estos equipos con cargo a las facturas mensuales de consumo.

5.2.3 Modelo de ingresos y costos

Será la empresa ESCO quien asuma la inversión en infraestructura necesaria para la distribución de calor desde la planta de producción hasta los usuarios finales. En este caso, los costos operacionales se refieren principalmente a la mano de obra (mantención y supervisión de la red, conexión de clientes, servicio técnico) y el consumo de electricidad del sistema de bombas.

Los ingresos se generarán por la venta de calor al operador final del servicio (no a los usuarios finales en esta etapa). En el caso en que sea la misma ESCO quien asuma la relación final con los clientes, el límite entre esta etapa y la siguiente puede diluirse, o pueden gestionarse unidades de negocio distintas dentro de la misma empresa, con transacciones internas. También puede haber otras fuentes de ingresos, en caso de que se ofrezcan servicios anexos, como por ejemplo, el arriendo de equipos de distribución de calor al interior de las viviendas. En principio, el objetivo es la venta de calor, por lo cual puede ser una estrategia de venta no rentar con el arriendo de equipos, sino que sólo se amortice su costo.

5.3 Consumo Final de Calor

5.3.1 Propuesta de valor y clientes

La propuesta de valor consiste en la prestación de un servicio de suministro de calor residencial para calefacción y ACS, que signifique una reducción de costos para el cliente final, a un mayor estándar de confort (doble utilidad para el cliente). Especialmente conveniente para usuarios actuales de calefacción central (no requieren invertir para conectarse), sobre todo en edificios con prohibición al consumo de leña (combustible más barato del mercado). Sin embargo, también ofrece ventajas a otros segmentos de clientes, ya que, como se verá más adelante en este informe, la evaluación económica indica que es posible llegar al mercado con precios competitivos.

El modelo de negocio propuesto es el de venta de ahorro energético. Por lo tanto, no ofrece independencia energética. Esto quiere decir que son los propios usuarios, a través de sus equipos disponibles actualmente (calefactores individuales, calefontos y acumuladores eléctricos, entre otros) quienes tendrán que asegurar su propio suministro cuando la ESE no pueda hacerlo (por paros de planta, por demanda excesiva del sistema, por averías a la red de distribución, o cualquier otro imprevisto). La independencia energética tiene un costo (mayor necesidad de inversión en equipos de respaldo), que debe ser traspasado al precio de venta, disminuyendo el ahorro al cliente, que es justamente lo que busca la propuesta de valor. Esto no implica, no obstante, un perjuicio para los clientes, ya que éstos ya cuentan con los equipos de respaldo en caso de que el sistema de ahorro falle, por lo cual no requieren pagar sobreprecio por independencia energética.

A raíz de lo anterior, se genera el inconveniente de que los calefactores a leña existentes no sean eliminados, sino que queden stand by mientras se utilice el sistema distrital, pudiendo ser reutilizados cuando el sistema falle. Lo primero es aclarar que el factor de planta, tal como se señaló en las primeras secciones de este informe, es altísimo, por las condiciones de operación propias de la planta industrial, lo que ofrece un alto nivel de confiabilidad en el suministro de calor por parte de la empresa

ESCO. No obstante este punto y con el fin de eliminar por completo los calefactores a leña (que puede ser uno de los objetivos del PDA), una posibilidad es suministrar a los usuarios, gratuitamente, artefactos de calefacción eléctricos (bajo costo de inversión), cuyo uso se reserve sólo para casos de suministro insuficiente por parte de la red distrital. El uso de estos artefactos en lugar de los calefactores a leña, estará favorecido por la alta confiabilidad en el suministro de calor distrital, lo que se traducirá en que los usuarios no se abastecerán de leña con anticipación.

5.3.2 Asociados y actividades clave

La última etapa de la cadena tiene que ver con la relación directa con el cliente y considera actividades tales como fidelizar clientes, promocionar el servicio para atraer clientes nuevos, gestionar el servicio al cliente (informaciones, atención de reclamos), medición de consumo y cobranzas.

La empresa que asuma esta etapa de la cadena, no tiene responsabilidades directas sobre la operación de la red distrital o la generación de calor, pero es responsable ante el cliente final para que el servicio se preste en los términos pactados. Por lo tanto, deberá exigir garantías a la empresa distribuidora para que mantenga la infraestructura en óptimas condiciones, ya que una detención por mantención correctiva implica disminuir las ventas y el descontento de los clientes.

En los proyectos de calefacción distrital, en general, esta etapa de la cadena suele ser asumida también por la empresa ESCO, ya que existe suficiente oferta en el mercado para subcontratar los servicios asociados a esta etapa (servicios de pago en línea, empresas de cobranza, empresas de mantención mecánica, instaladores de sistemas de calefacción, centros de atención de clientes, agencias de publicidad, servicios informáticos).

5.3.3 Modelo de ingresos y costos

Los ingresos se generan por la venta del servicio de calefacción y ACS en los términos pactados por el contrato de prestación de servicios. Estos ingresos son proporcionales al volumen de calor consumido (medido en unidades energéticas, gracias a los sensores instalados en las estaciones de transferencia) y a una tarifa de venta compuesta por un cargo fijo (destinado a amortizar el costo de conexión a la red distrital), un cargo variable que depende exclusivamente del consumo, y otros gastos (corte y reposición o intereses rotativos por morosidad). Debe fijarse un polinomio de indexación de la tarifa variable, que dependa por ejemplo del IPC, del precio del GLP informado por ENAP, u otras variables conocidas, de forma de transparentar la tarifa en el largo plazo. Además, con el fin de estimular el consumo nocturno y, de esa forma, reducir las puntas de consumo durante el día, se establece una tarifa diurna (alta demanda) y una tarifa nocturna (baja demanda).

Los costos están asociados a todas las actividades mencionadas en el punto anterior, ya sea por subcontratación de servicios como por operación con personal propio. Para esta evaluación, se consideró que los servicios son subcontratados por la misma ESCO.

Los clientes que ya cuenten con sistemas de distribución de calor al interior de sus viviendas o departamentos, sólo deberán invertir en la conexión a la red. En el caso de clientes que no cuenten con estos elementos, existen varias alternativas en el mercado. Los sistemas radiantes y los radiadores son los sistemas más comunes, aunque requieren una inversión mayor que otras alternativas como los equipos fan coils, los que permiten distribuir calor desde una red distrital mediante convección forzada.

5.4 Compensación de emisiones

5.4.1 Propuesta de valor y clientes

La propuesta de valor consiste en la venta del proyecto de compensación de emisiones a una empresa que esté obligada, por la entrada en vigencia del PPDA para Concepción Metropolitano, a reducir sus emisiones y, por diferentes motivos, no lo pueda lograr interviniendo sus propios procesos. Según lo que señala el anteproyecto en Rex. 0242 24.03.2017, los grandes establecimientos industriales, que corresponden a aquéllos cuyas emisiones atmosféricas superen las 20 ton/año de MP o 300 ton/año de SO₂, "deberán reducir sus emisiones directas de MP en al menos un 30%, respecto de las emisiones autorizadas para el año 2013 o su primer año de funcionamiento, en caso de ser éste posterior a dicho año. Las reducciones que se logren por medio del cumplimiento de los límites máximos de emisión establecidos en el presente decreto, serán considerados como parte del cumplimiento de su meta de reducción." "La reducción señalada podrá alcanzarse mediante mecanismos de compensación de emisiones y utilización de la tabla de equivalencias, entre las diversas fuentes al interior de la zona sujeta al Plan".

5.4.2 Asociados y actividades clave

Para la empresa productora, es importante valorizar la reducción de las emisiones de material particulado fino, ya que corresponde al contaminante que más pondera en el plan de compensación y, por mucho, el principal contaminante generado por las fuentes residenciales de combustión. Por lo tanto, es de interés que toda la cadena, desde la producción hasta la prestación del servicio al usuario final, funcione en forma óptima, para estimular la conexión de clientes a la red. Es de interés para esta empresa, que se conecten actuales consumidores de leña (mayor mitigación de MP), por lo cual pudiera apoyar actividades de educación y difusión en estos públicos. También estará eventualmente activa en discusiones de políticas público-privadas, dirigidas a fomentar los sistemas de calefacción limpia, que ayuden a estimular la conexión a estos sistemas. Su coordinación con la Municipalidad local, en este sentido, será clave.

5.4.3 Modelo de ingresos y costos

El modelo de flujos para la empresa productora, se resume en la entrega del calor residual de sus procesos industriales, a costo cero para la empresa ESCO, con el fin de obtener la titularidad del proyecto de compensación de emisiones, así poder negociarlo con alguna empresa que requiera compensar. Los ingresos se generan por la negociación de este plan con alguna empresa interesada, a través del banco de proyectos de compensación del Ministerio del Medio Ambiente. El monto de la negociación debiera estar en el orden de lo que implica invertir en otros planes de compensación típicos (p.e. recambio de calefactores), para similar volumen de MP compensado.

6

Evaluación Económica

6.1 Inversión Inicial

6.1.1 Estudios de preinversión

En este ítem, se consideran todos los costos relacionados con la ingeniería de detalle, tramitaciones, permisos, estudios ambientales, estudios legales, entre otros. Para esto, se consideran montos estimativos, que van de acuerdo al tamaño del proyecto. En este caso, se estimó en \$70.000.000.

6.1.2 Unidad de recuperación de calor

La unidad de recuperación de calor consiste en un intercambiador de calor de tubos y carcasa (economizador), junto con la estructura metálica de soporte. Además, se incluye un depósito acumulador de inercia térmica de 40 m³ de volumen.

Concepto	Precio neto (CLP)
Economizador con intercambiador de calor de tubos	130.650.000
Instalación y estructura metálica de soporte	40.200.000
Depósito acumulador de inercia 40 m ³	40.000.000
Total unidad recuperadora de calor	210.850.000

Tabla 22: Costos de inversión de la unidad recuperadora de calor

6.1.3 Red de distribución de calor

Para la red de distribución de calor, se cotizaron tuberías EcoFlex Twin y EcoFlex Single en UPONOR. Estas cotizaciones incorporan los costos de instalación, salvo excavaciones y retapes. El costo en válvulas se estimó en un 10% del costo de tuberías, el costo en excavaciones y retapes se estimó en CLP 10.000 el metro lineal (no existen tramos importantes donde haya que romper pavimento). Las bombas se seleccionaron de acuerdo al caudal y altura de impulsión de la red diseñada, y se cotizaron en Anwo. Se seleccionó el modelo NKP-G-40-250 del fabricante DAB. Los accesorios de montaje y control se estimaron en un 1% del costo total, mientras que los gastos generales se fijaron en un 5% del costo total. En la Tabla 23, se resumen los cálculos de los costos de inversión de la red de distribución de calor.

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario (CLP)	Costo total (CLP)
Tubería PE-X 25 mm, impulsión y retorno	m	990	49.341	48.847.293
Tubería PE-X 32 mm, impulsión y retorno	m	1.541	55.027	84.769.710
Tubería PE-X 40 mm, impulsión y retorno	m	945	65.036	61.458.737
Tubería PE-X 50 mm, impulsión y retorno	m	616	84.746	52.203.351
Tubería PE-X 63 mm, impulsión y retorno	m	428	112.916	48.328.219
Tubería PE-X 75 mm, 1 línea	m	500	82.490	41.245.000
Tubería PE-X 90 mm, 1 línea	m	1.084	88.870	96.335.297
Tubería PE-X 100 mm, 1 línea	m	424	101.682	43.113.041
Tubería PE-X 125 mm, 1 línea	m	1.364	135.970	185.462.807
		7.937		661.763.454
Total tuberías aisladas, instaladas	m	7.892	83.858	661.763.454
Válvulas	gl	0,1	661.763.454	66.176.345
Excavaciones y retapes	m	6.206	10.000	62.055.000
Bomba centrífuga DAB NKP-G 40-250	ud	6	2.152.040	12.912.240
Accesorios de montaje y control	gl	0,01	856.284.085	8.562.841
Mano de obra montaje sistema hidráulico	gl	1	2.000.000	2.000.000
Gastos generales	gl	0,05	856.284.085	42.814.204
Total				856.284.085

Tabla 23: Costos de inversión en red de distribución de calor

	Nombre proyecto inmobiliario				
	Sebastián de los Reyes	Alto Huerto	Huerto Parque	Lonquimay	EcoParque
N° edificios	3	1	2	2	2
Pisos por edificio	8	15	6	5	9
N° departamentos	96	97	84	76	118
Superficie construida aprox. (m ²)	6480	7275	8316	6156	14041
Factor de forma	1,3	1,3	2	2	1,5
Altura geométrica (m)	24	45	18	15	27
Longitud aprox. tuberías calefacción (m)	160,13	245,42	295,92	274,19	265,89
Longitud aprox. tuberías ACS (m)	80,07	122,71	147,96	137,09	132,95
Pérdidas de carga en tuberías de calefacción (m)	40,75	27,83	32,44	25,15	45,78
Pérdidas de carga en tuberías de ACS (m)	40,75	27,83	32,44	25,15	45,78
Caudal máximo agua caliente para calefacción (l/s)	1,04	0,89	1,02	0,87	1,18
Caudal mínimo ACS (l/s)	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06
Impulsión requerida agua para calefacción (bar)	10,93	11,76	8,54	6,78	12,29
Potencia requerida bomba agua calefacción $\eta=80\%$ (HP)	1,9	1,75	1,45	0,98	2,43
Potencia requerida bomba agua calefacción $\eta=80\%$ (kW)	1,14	1,05	0,87	0,59	1,46
Impulsión requerida ACS (bar)	10,93	11,76	8,54	6,78	12,29
Potencia requerida bomba ACS $\eta=80\%$ (HP)	1,9	1,75	1,45	0,98	2,43
Potencia requerida bomba ACS $\eta=80\%$ (kW)	1,43	1,31	1,09	0,74	1,82

Tabla 24: Potencia requerida para las bombas en distribución al interior de edificios

Nota: Como las estaciones de transferencias (Figura 28) serán financiadas por el propio usuario a través del cobro de un cargo fijo por amortización, no se considera el valor de adquisición de estos equipos en la inversión inicial del proyecto (aunque debe considerarse para el financiamiento del proyecto). Lo mismo ocurre para el costo de los elementos de distribución de calor al interior de viviendas y edificios (Tabla 25).

Descripción del ítem	Precio (CLP)	
1 Termostato ambiental analógico 230 V, programa de 7 días	67.160	<p>El diagrama muestra una estación de transferencia WK-M-1 con los siguientes componentes numerados: 1. Termostato ambiental analógico; 2. Estación base; 3. Módulo termostático principal; 4. Regulador termostático de agua caliente; 5. Actuador; 6. Limitador de temperatura de retorno; 7. Juego de 6 válvulas esféricas.</p>
2 WK-M-1 Estación base 12l/min. 16 Intercambiador de placas	403.252	
3 Módulo termostático principal TTV conectado en la estación	96.981	
4 Regulador termostático de agua caliente "TWR" 35-70° C para calefacción por suelo radiante	75.920	
5 Actuador 230 V (cerrado sin tensión)	13.870	
6 Limitador de temperatura de retorno (secundario calefacción, tarado a 37,5°C)	46.574	
7 Juego de 6 válvulas esféricas (2 x azul, 2 x rojo, 2 x verde)	40.880	
Total equipamiento para estación de transferencia WK-M-1	744.637	

Figura 28: Ejemplo de pedido de estación de transferencia (IVA incluido).
Fuente: Kamo Systemtechnik

Ítem de costo	Nombre proyecto inmobiliario				
	Sebastián de los Reyes	Alto Huerto	Huerto Parque	Lonquimay	EcoParque
Longitud aprox. tuberías calefacción (m)	160,13	245,42	295,92	274,19	265,89
Longitud aprox. tuberías ACS (m)	80,07	122,71	147,96	137,09	132,95
Precio promedio tubería PE-X varios diámetros (CLP/m)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Costo sistema tuberías (CLP)	4.804.010	7.362.652	8.877.569	8.225.651	7.976.767
Otros elementos de la red (CLP)	480.401	736.265	887.757	822.565	797.677
Bomba centrífuga 1 HP (unidades)	0	0	0	3	2
Bomba centrífuga 2 HP (unidades)	3	3	3	0	3
Costo unitarios bomba centrífuga 1 HP (CLP/ud)	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Costo unitarios bomba centrífuga 2 HP (CLP/ud)	750.000	750.000	750.000	750.000	750.000
Costo total sistema de bombas (CLP)	2.250.000	2.250.000	2.250.000	1.500.000	3.250.000
Estanque acumulación ACS 10.000 litros (CLP)	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000
Vaso expansión red de calefacción (l)	2,74	4,2	5,06	4,69	4,55
Vaso expansión red ACS (l)	25,98	27,44	28,31	27,94	27,79
Costo vaso expansión calefacción (CLP)	23.100	23.100	23.100	23.100	23.100
Costo vaso expansión ACS (CLP)	65.736	65.736	65.736	65.736	65.736
Mano de obra instalación (CLP)	4.804.010	7.362.652	8.877.569	8.225.651	7.976.767
Costo total red distribución en edificios (CLP)	22.427.257	27.800.406	30.981.731	28.862.703	30.090.046

Tabla 25: Costo de instalación del sistema de distribución de calor al interior de edificios

6.1.4 Calefacción central en viviendas

Un sistema de calefacción central típico para viviendas consta básicamente de equipos radiadores (1 por habitación), tuberías de circulación de agua, elementos de control de temperatura y un depósito de acumulación (opcional). Los costos asociados a tuberías e instalación, se calcularon proporcionalmente a la superficie construida de cada vivienda, al igual que para radiadores y accesorios y la mano de obra de montaje. Para el resto de elementos, se consideró un costo único de adquisición para todas las viviendas del proyecto. En la Tabla 26, se muestra el cálculo del costo total por la adquisición de un sistema de calefacción central para las viviendas tipo 1-8 (el monto es similar para las demás).

Además de estos sistemas de radiadores, existen otras alternativas: sistemas radiantes (losa, muros, techo) o fan coils. La primera alternativa es más cara que el sistema por radiadores, aunque tiene algunas ventajas en el estándar de calefacción. El uso de fan coils es una alternativa más económica que los radiadores, pues es posible instalar sólo un equipo para calefaccionar una vivienda completa por convección forzada. Con la instalación de un solo artefacto por vivienda no es posible controlar el consumo por habitaciones (limitándose a una temperatura uniforme para toda la vivienda). Sin

embargo, esto se puede solucionar instalando unidades más pequeñas distribuidas dentro de la vivienda, aunque el costo aumenta por la necesidad de instalar ductos de transporte de agua caliente. Generalmente, los fan coils vienen con un calefactor eléctrico incorporado y permiten generar frío además de calor. Un artefacto básico para calefaccionar una vivienda de unos 120 m2 tiene un valor aproximado de entre CLP 400.000-500.000, a lo que hay que sumar el costo de la instalación y conexión al intercambiador de calor. Las unidades más pequeñas tienen un valor del orden de los CLP 300.000.

Vivienda	1	2	3	4	5	6	7	8
Red de tuberías (CLP)	600.000	525.000	500.000	600.000	450.000	487.500	300.000	375.000
Radiadores y accesorios (CLP)	520.000	520.000	650.000	650.000	650.000	650.000	260.000	390.000
Acumulador de inercia (CLP)	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000
Sistema de control y accesorios (CLP)	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000
Mano de obra montaje (CLP)	180.000	157.500	150.000	180.000	135.000	146.250	90.000	112.500
Mano de obra civil (CLP)	180.000	157.500	150.000	180.000	135.000	146.250	90.000	112.500
Ruptura y reposición (CLP)	360.000	315.000	300.000	360.000	270.000	292.500	180.000	225.000
Total (CLP)	2.740.000	2.575.000	2.650.000	2.870.000	2.540.000	2.622.500	1.820.000	2.115.000

Tabla 26: inversión en sistema de calefacción central en viviendas

6.1.5 Inversión del proyecto de calefacción distrital

En la Tabla 27, se presenta la inversión inicial del proyecto de calefacción distrital con uso de calor residual industrial. Estos costos no incluyen la inversión asociada a la red de distribución al interior de las viviendas.

Concepto	Monto (CLP)
Estudios y permisos	70.000.000
Recuperador de calor	210.850.000
Red de distribución	856.284.085
Total inversión inicial	1.137.134.085

Tabla 27: Resumen inversión inicial

6.2 Costos de operación

Los costos de operación considerados en la evaluación del proyecto fueron:

- **Consumo de electricidad:** corresponde principalmente al consumo de las bombas de circulación (desglose de costos en Tabla 28).
- **Horas hombre de supervisión:** corresponde al personal a cargo de la supervisión del sistema a través de medios computarizados de monitoreo en tiempo real (3 turnos para una operación continua).
- **Mantenimiento preventiva y correctiva:** se estima un monto fijo anual.
- **Sistemas informáticos:** mantenimiento de sistemas de bases de datos e información en línea (por ejemplo para que usuarios puedan analizar su consumo en tiempo real) y principalmente para el sistema de monitoreo continuo por parte de los operadores mecánicos/eléctricos.
- **Servicio cobranza y atención a clientes:** se fija un monto mensual por concepto de subcontratación de una empresa externa que preste estos servicios.
- **Seguros:** los seguros cubren fallas en los equipos más importantes; las primas por seguros se fijan generalmente en torno al 3-5% del valor de estos equipos. Para esta evaluación, se fijó un valor del 3% de la inversión en la unidad recuperadora (economizador + estructura + acumulador).
- **Gastos de administración y ventas:** son gastos incurridos por concepto de gestión del negocio (administración y finanzas), pero principalmente por gestión comercial (captación y fidelización de clientes). También se estima en un monto fijo anual.

Potencia total de las bombas	85	kW
Precio por potencia, tarifa BT3	11.926,4	CLP/kW/mes
Gasto por potencia (media del 50% de potencia máxima)	7.298.957	CLP/año
Precio por consumo de energía, tarifa BT3	87,486	CLP/kWh
Consumo de electricidad (media del 40% de potencia máxima)	297.840	kWh/año
Gasto por consumo	26.056.830	CLP/año
Total gasto anual	33.355.787	CLP/año
Total gasto anual, neto de IVA	28.030.073	CLP/año

Tabla 28: Gasto anual en electricidad

En la Tabla 29, se resume el costo anual de operación del proyecto, cuya cifra es de CLP 110.255.573.

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario (CLP)	Costo total (CLP)	Peso
Electricidad	gl	1	28.030.073	28.030.073	25%
Supervisión (3 turnos)	HH	8.760	2.500	21.900.000	20%
Mantenimiento y servicio técnico	mes	12	2.000.000	24.000.000	22%
Sistemas informáticos	año	1	3.000.000	3.000.000	3%
Servicio cobranza y atención clientes	año	1	3.000.000	3.000.000	3%
Seguros	gl	0,03	210.850.000	6.325.500	6%
Gastos de administración y ventas	mes	12	2.000.000	24.000.000	22%
Total				110.255.573	100%

Tabla 29: Costos de operación del proyecto

6.3 Ingresos por ventas

6.3.1 Tarifa de venta variable

La tarifa de venta se determinó a partir de la estructura de costos del proyecto y aplicando un margen de retorno de un 30% sobre el capital invertido. El proyecto será económicamente rentable si es capaz de llegar al mercado a una tarifa inferior o similar al precio de mercado de los combustibles alternativos.

Los costos de inversión y operación fueron llevados a una base anual y expresados por unidad de superficie construida (m²)¹¹. Para ello, se consideró una tasa de descuento del 10% y un horizonte de evaluación de 50 años, que corresponde a la vida útil estimada de la red de distribución (Tabla 30). Se aplicó depreciación lineal sin valor de rescate, con vida útil de 25 años para la unidad recuperadora de calor (2 ciclos de inversión durante el proyecto) y 50 años para la red de distribución. Se dejó fuera de la evaluación la inversión en elementos de distribución de calor al interior de viviendas y departamentos, ya que el alcance del servicio se limita hasta la conexión de la red con la estación de transferencia. Además, cada cliente es un caso particular (algunos ya cuentan con estos elementos, otros estarán dispuestos a invertir en sistemas de alto estándar, mientras que otros buscarán soluciones económicas).

En la Tabla 30a, se reporta la estructura de costos unitarios anualizados, mientras que en la Tabla 30b, se reporta la estructura de costos actuales netos del proyecto (tasa de 10%, periodo 50 años). Estos valores no incluyen aún el costo de la estación de transferencia ni el costo de conexión a la red, los que se incorporan luego en el cargo fijo de la tarifa de venta.

Tabla 30: Costo anual equivalente (CAE) por unidad de superficie

Concepto	CAE (CLP/año/m ²)	Peso	Concepto	CAN (CLP)	Peso
Estudios y permisos	90	3%	Estudios y permisos	70.000.000	3%
Recuperador de calor	296	10%	Recuperador de calor	230.310.611	10%
Red de distribución	1.099	38%	Red de distribución	856.284.085	38%
Costos operación	1.403	49%	Costos operación	1.093.163.554	49%
Total	2.887	100%	Total	2.249.758.250	100%
Total costos de capital	1.484	51%	Total costos de capital	1.156.594.696	51%
Costos de operación	1.403	49%	Costos de operación	1.093.163.554	49%

a) Costos unitarios anualizados

b) Costos actualizados

En la Tabla 31, se reporta la tarifa variable calculada. Nótese que se diferencié la tarifa de calefacción diurna con la nocturna. El objetivo es estimular un comportamiento de consumo continuo de calefacción (24 horas), lo que trae dos beneficios: 1) generar venta del servicio cuando existe oferta de calor, pero baja demanda, y 2) estabilizar las cargas térmicas de calefacción en el día, producto de la inercia térmica acumulada durante la calefacción nocturna, reduciendo así las puntas de consumo y liberando potencia al sistema. La tarifa nocturna se calculó considerando sólo los costos de operación.

¹¹ Los costos se expresan por unidad de superficie o unidad de energía, porque el análisis de costos unitarios es más simple de entender que un análisis de costos nominales, facilitando el análisis comparativo. Generalmente, las bases unitarias utilizadas son el m² y el kWh, con lo cual se puede estimar el gasto para una vivienda conociendo sólo su superficie, o comparar costos de distintas alternativas de calefacción al llevarlas a una base común.

Tabla 31: Tarifa variable del servicio

Concepto	Calefacción		ACS
	Diurna	Nocturna	
Costos de capital (CLP/kWh)	22,53		22,53
Costos de operación (CLP/kWh)	16,31	16,31	16,31
Impuesto a las utilidades (CLP/kWh)	8,12		8,12
Retorno sobre el capital (CLP/kWh)	6,76		6,76
Total tarifa (CLP/kWh)	53,72	16,31	53,72

6.3.2 Cargo fijo de la tarifa de servicio

En el cargo fijo, se incorporan los siguientes conceptos:

- Arriendo de estación de transferencia: el costo de adquisición e instalación de la estación de transferencia se lleva a una base mensual, considerando la tasa de descuento del proyecto de ingeniería final y un horizonte de 15 años. El equipo es reutilizable en caso de que un cliente abandone. En el caso de las viviendas unifamiliares, lo usual es instalar una estación por vivienda. En el caso de los edificios, se puede instalar una estación de gran tamaño para todo el edificio, y medir consumo en forma independiente para cada departamento. Otra alternativa es instalar una estación por piso. Por economías de escala, es más conveniente la primera opción.
- Arriendo de equipos de calefacción y ACS: este ítem es opcional y se incorpora cuando el cliente contrata el servicio de arrendamiento de los equipos de distribución de calor al interior de la vivienda. Se incluye aquí también el costo de instalación. Se calcula con una amortización a 15 años, que corresponde a la vida útil de los radiadores o de los fan coils.
- Cargo por conexión a la red: aquí se cargan los costos incurridos por la conexión de la vivienda a la red distrital (tuberías, válvulas, obras civiles, mano de obra de instalación). Al igual que en los casos anteriores, debe estimarse cuidadosamente la tasa de fidelización de clientes, de manera de determinar el horizonte de amortización eficiente, considerando que, en este caso, no es posible rescatar parte de la inversión. Se utiliza una amortización a 20 años para esta evaluación.

Así, un cliente pagaría un cargo fijo mensual de CLP10.673 por el arriendo de la estación de transferencia y la conexión a la red. El valor de la estación de transferencia es de referencia, de acuerdo a precios publicados por algunos fabricantes. Para el proyecto, considerando la adquisición de varias unidades, sería posible establecer contratos de abastecimiento a un costo inferior.

Tabla 32: Cargos fijos por el servicio (IVA incluido)

Arriendo estación de transferencia	
Valor equipo (CLP)	750.000
Amortización (años)	15
Cuota mensual (CLP/mes)	7.863
Arriendo calefacción central (radiadores)	
Valor total instalación (CLP)	2.500.000
Amortización (años)	15
Cuota mensual (CLP/mes)	26.210
Arriendo calefacción central (fan coils)	
Valor total instalación (CLP)	700.000
Amortización (años)	15
Cuota mensual (CLP/mes)	7.339
Conexión a la red	
Valor total conexión (CLP)	300.000
Amortización (años)	20
Cuota mensual (CLP/mes)	2.810

6.3.3 Otros cargos

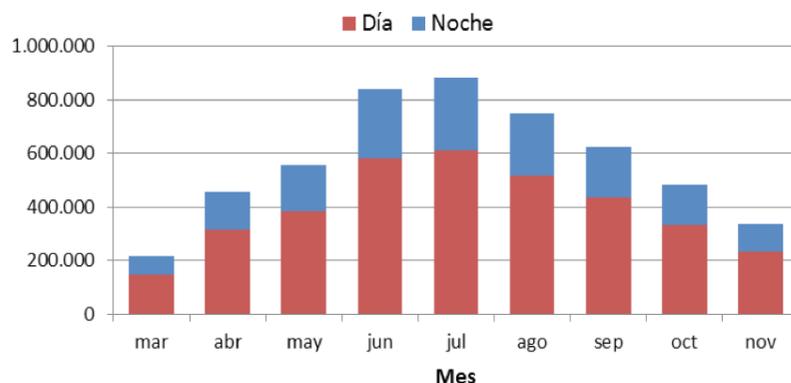
Existen cargos adicionales por concepto de morosidades (intereses rotativos) y corte y reposición, cuando proceda.

6.3.4 Volumen de ventas

Considerando que los cargos fijos están calculados para amortizar las inversiones correspondientes, los ingresos se obtienen exclusivamente de la tarifa variable, por lo cual se reportan los cálculos en base a dicho concepto.

De la curva de demanda de calor reportada previamente, los ingresos por venta se obtienen por multiplicación directa entre el volumen energético (kWh) y la tarifa variable (CLP/kWh). Para ello, se debe desagregar la curva total de calefacción entre periodo diurno y nocturno, lo que se obtiene a partir de los grados-día de calefacción en ambos periodos separadamente (Figura 29). Los resultados se muestran en la Tabla 33.

Consumo calefacción viviendas (kWh)



Mes	Día	Noche	Total
3	149.252	66.142	215.393
4	316.175	140.115	456.290
5	386.330	171.204	557.534
6	582.440	258.111	840.551
7	613.179	271.734	884.913
8	518.926	229.965	748.891
9	434.420	192.516	626.936
10	334.383	148.184	482.567
11	232.847	103.188	336.035
Total	3.567.952	1.581.158	5.149.110

Figura 29: Consumo calefacción proyecto (kWh/año)

Mes	Consumo (kWh/año)				Ventas (CLP/año)			
	Calefacción				Calefacción			
	Día	Noche	ACS	Total	Día	Noche	ACS	Total
ene	0	0	117.641	117.641	0	0	6.319.707	6.319.707
feb	0	0	120.244	120.244	0	0	6.459.523	6.459.523
mar	149.252	66.142	120.244	335.637	8.017.840	1.078.972	6.459.523	15.556.336
abr	333.505	140.115	122.846	596.466	17.915.976	2.285.702	6.599.340	26.801.018
may	402.614	171.204	125.449	699.267	21.628.561	2.792.862	6.739.156	31.160.580
jun	611.732	258.111	126.750	996.594	32.862.450	4.210.586	6.809.065	43.882.101
jul	641.207	271.734	128.052	1.040.992	34.445.845	4.432.807	6.878.973	45.757.625
ago	538.163	229.965	126.750	894.878	28.910.280	3.751.432	6.809.065	39.470.776
sep	448.193	192.516	125.449	766.158	24.077.097	3.140.518	6.739.156	33.956.771
oct	340.962	148.184	124.148	613.294	18.316.604	2.417.331	6.669.248	27.403.183
nov	232.847	103.188	121.545	457.580	12.508.637	1.683.305	6.529.432	20.721.373
dic	0	0	119.983	119.983	0	0	6.445.542	6.445.542
Total	3.698.475	1.581.158	1.479.100	6.758.733	198.683.290	25.793.515	79.457.729	303.934.535

Tabla 33: Ingresos anuales por ventas del servicio

6.4 Compensación de Emisiones

Además de los ingresos generados por el servicio de venta energética, se pueden valorizar los ingresos generados por la negociación del plan de compensación de emisiones. Como se reportó en la sección 3.5, el proyecto de calefacción distrital propuesto permitiría eliminar una cantidad anual de 4,57 ton de emisiones directas de MP2,5, en el escenario en que la leña se encuentra más húmeda (escenario 1), y 4,35 ton de emisiones directas de MP2,5, en el escenario en que la leña se encuentra más seca (escenario 2).

Para valorizar económicamente el plan de compensación de emisiones, producto de la implementación del proyecto de calefacción distrital, se calculó el valor alternativo que tendría un plan de recambio de calefactores a leña en el sector a intervenir. En el Anexo 4, se encuentra el desarrollo en detalle de la metodología de cálculo y los resultados que se reportan, resumidamente, a continuación.

La estimación del potencial de reducción de emisiones de contaminantes del aire debido a la sustitución de los actuales equipos de calefacción residencial en base a leña, por calefactores a leña que cumplen con el D.S. No 39/2011, se realiza considerando los datos de consumo promedio de leña para calefacción y la tecnología de los equipos de combustión a leña. Para ello, se utilizaron los datos de la encuesta CASEN, ajustados con los valores de consumo de leña y factores de emisión propuestos en los estudios desarrollados para el Anteproyecto del Plan de Descontaminación de Concepción Metropolitano. En el análisis también se consideró la eficiencia térmica de los equipos de calefacción a leña.

Los supuestos considerados en el cálculo de los costos de inversión y operación asociados al recambio de equipos a leña por calefactores que cumplen con el D.S. No 39/2011, se presentan a continuación:

- Potencia Bruta: 7 kW
- Eficiencia térmica del calefactor: 75%
- Inversión: \$ 350.000 incluye Equipo + kit de instalación + instalación

En la Tabla 34, se reporta el potencial de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5 para una alternativa de compensación de emisiones de material particulado en el sector residencial, mediante el recambio de equipos a leña por calefactores que cumplen con el D.S. No 39/2011. Para el análisis, se considera el potencial de reducción en función de las características de consumo de leña, del porcentaje de penetración de las distintas tecnologías de calefactores a leña, y del contenido de humedad (escenarios 1 y 2). No se consideró el recambio de cocinas a leña, dado que éstas también cumplen con la función de cocción de alimentos en el hogar.

Tabla 34: Potencial unitario ponderado de reducción de MP10 y MP2,5 (kg/año-equipos) en Concepción Metropolitano, según contenido de humedad de la leña para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Contaminante	Potencial unitario de reducción de MP (kg/año-equipos)		
	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Reducción de MP10	5,0	4,8	4,9
Reducción de MP2,5	4,6	4,5	4,6

En la Tabla 35, se presentan los resultados de la evaluación económica correspondiente al reemplazo de actuales artefactos de combustión a leña en el sector residencial de Concepción Metropolitano, por calefactores a leña que cumplen con el D.S. No 39/2011. Para el análisis, se consideró la reducción de 4,57 ton/año de MP2,5 para el escenario 1 (mayor contenido de humedad de la leña), y de 4,35 ton/año de MP2,5 para el escenario 2 (leña se encuentra más seca).

Tabla 35. Costo promedio de reducción de MP2,5 en Concepción Metropolitano, según contenido de humedad de la leña, para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Plan	Escenario de contenido de humedad		
	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Número de recambios	990	969	980
Costo de reducción de MP2,5 (MM CLP)	346,56	339,31	342,94

Se puede observar que el costo promedio de un plan de recambio de equipos a leña en el sector residencial, basado en el reemplazo de un calefactor a leña por uno que cumpla el D.S. No 39/2011, sería del orden de los 342,94 millones de pesos, lo que implicaría un recambio de 980 equipos para cumplir con la meta de reducción de emisiones. Cabe señalar, que el número de recambios podría ser menor y por ello el costo del Plan, si sólo se cambian los equipos más contaminantes, (salamandras y estufas de lata). Sin embargo, dada la poca participación de estos equipos en el parque de calefactores de Concepción Metropolitano, se dificultaría y restringiría el proceso de selección de los hogares, por lo que podría comprometer la viabilidad de ejecutar un Plan de recambio en el corto plazo.

Por otro lado, la Rex. 0242 24.03.2017 que aprueba el Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concepción Metropolitano, señala que, para contabilizar la reducción de emisiones a la que está sometido un gran establecimiento industrial (aquél que emite por sobre las 20 ton/año de MP o sobre las 300 ton/año de SO₂), se podrán considerar las emisiones en masa de SO₂, NO_x y NH₃, que provengan de fuentes estacionarias con combustión (hornos, calderas, sistemas de calefacción, entre otros), según un coeficiente de conversión para MP2,5 equivalente, establecido para cada uno de estos contaminantes precursores.

Para el caso del proyecto de calefacción distrital evaluado en este informe, las cantidades actualizadas, por equivalencia de MP2,5 emitido, serían de 4,85 ton/año para el escenario 1 y de 4,63 ton/año para el escenario 2. En la Tabla 36, se reportan los costos del plan de recambio de calefactores, teniendo estas cifras actualizadas en consideración. En este caso, el costo promedio de un plan de recambio de equipos a leña en el sector residencial, basado en el reemplazo de un calefactor a leña por uno que cumpla el D.S. No 39/2011, sería del orden de los 364,60 millones de pesos, lo que implicaría un recambio de 1042 equipos para cumplir con la meta de reducción de emisiones.

Tabla 36. Costo promedio de reducción de MP2,5 equivalente en Concepción Metropolitano, según contenido de humedad de la leña, para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Plan	Escenario de contenido de humedad		
	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Número de recambios	1051	1032	1042
Costo de reducción de MP2,5 (MM CLP)	367,91	361,28	364,60

En consecuencia, Papeles Bío Bío podría esperar un ingreso total del orden de los 364,60 millones de pesos, producto de la negociación del plan de compensación con algún gran establecimiento industrial. Esta cifra debiera resultar atractiva para un establecimiento que requiera invertir en un plan de compensación de emisiones, ya que no tendría que incurrir en el costo adicional que implica gestionar la operación de un plan de recambio de calefactores, al mismo tiempo que le significaría un menor tiempo de tramitación.

6.5 Flujo de Caja y Rentabilidad

En la tabla 37a, se reportan los cálculos de flujo de caja y rentabilidad económica, a partir de las tarifas definidas previamente y con los volúmenes de venta ya reportados. De acuerdo a estos resultados, se observa que con un 30% de retorno sobre el capital (IVAN=0,30), tal como se había definido durante la composición de la tarifa, el VAN (10%,50 años) es de CLP 346.978.409, con una TIR del 13,1% y una recuperación del capital al año 7,63. Más adelante, se sensibiliza el valor definido para el retorno al capital, para ver cómo responde el proyecto si el inversionista espera mayor rentabilidad.

En la Tabla 37b, se incorpora el plan de compensación de emisiones anualizado, dentro de los ingresos del proyecto. Como se puede observar, las cifras mejoran increíblemente. El IVAN alcanza un valor de 0,54 (el retorno sobre la inversión aumenta a más del doble), la TIR pasa a ser del 15,5% y el payback se reduce a 6,45 años (es decir, toda la inversión estaría amortizada en ese tiempo, mientras que la vida útil es de 50 años). En estas circunstancias, se puede analizar una reducción de la tarifa, de forma de hacer más atractivo el proyecto para los clientes finales, incentivando así el consumo y la conexión de más clientes.

Asociando esta evaluación con el modelo de negocio descrito anteriormente, se deduce que la empresa ESCO operadora del negocio de servicios energéticos (recuperación de calor + distribución de calor + venta final), debiera obtener un VAN de 346,98 millones de pesos, tal como señala la Tabla 37a, mientras que la empresa productora de calor residual debiera esperar un VAN de 273,45 millones de pesos (considera el pago del 25% de impuestos). Si esta última decidiera operar el proyecto completo, entonces podría esperar la rentabilidad señalada en la Tabla 37b.

Concepto	Monto (CLP)	Concepto	Monto (CLP)
Ingresos por ventas (CLP/año)	303.934.535	Ingresos por ventas (CLP/año)	303.934.535
		Plan compensación anualizado (CLP/año)	36.773.255
Costos de operación (CLP/año)	110.255.573	Costos de operación (CLP/año)	110.255.573
Depreciaciones (CLP/año)	25.559.682	Depreciaciones (CLP/año)	25.559.682
Utilidad antes de impuestos (CLP/año)	168.119.280	Utilidad antes de impuestos (CLP/año)	204.892.535
Impuestos (CLP/año)	42.029.820	Impuestos (CLP/año)	51.223.134
Flujo de caja (CLP/año)	151.649.141	Flujo de caja (CLP/año)	179.229.083
Inversión inicial (CLP)	1.156.594.696	Inversión inicial (CLP)	1.156.594.696
Rescate inversión (CLP)	0	Rescate inversión (CLP)	0
VAN(10%,50 años) (CLP)	346.978.409	VAN(10%,50 años) (CLP)	620.428.409
IVAN	0,3	IVAN	0,54
TIR	13,10%	TIR	15,50%
Payback (años)	7,63	Payback (años)	6,45
Payback descontado (años)	15,1	Payback descontado (años)	10,8

a) Sólo venta de servicios energéticos

b) Venta servicios energéticos + compensación emisiones

Tabla 37: Indicadores de rentabilidad económica

6.6 Situación Actual Versus Situación Propuesta

Utilizando los resultados de las encuestas levantadas en las viviendas del sector, se compara el gasto anual en el que incurren actualmente las familias del sector evaluado, versus el gasto anual proyectado por la situación propuesta. Asimismo, se compara también el nivel de consumo entre un escenario y otro, ya que el servicio de calefacción distrital fue pensado para un consumo más prolongado durante el día y durante el año, incluyendo consumo nocturno e incluyendo los meses de marzo y noviembre. El objetivo es evaluar si es posible elevar considerablemente el estándar de confort térmico de estas viviendas, manteniendo un nivel similar de gasto en el año.

De acuerdo a las encuestas realizadas en viviendas del sector, se pudo constatar en qué horarios se consume calefacción preferentemente. Naturalmente, no fue posible cuantificar el consumo en los distintos horarios con exactitud, pero se construyó una curva (Figura 30) con los puntajes que los encuestados definieron como “Alto consumo” (puntaje 3), “Medio consumo” (puntaje 2) y “Bajo consumo” (puntaje 1). En ella, se puede observar que el consumo punta se acerca al que se definió inicialmente para el proyecto en una situación con calefacción distrital y que corresponde, predominantemente, al patrón de consumo D. También se observó que no existe consumo punta en el horario de entre las 13:00-17:00 hrs, como se proyectó para un escenario con calefacción distrital (predominancia de patrones A, B y C) y sí existe consumo nocturno (la gente deja encendidos los calefactores hasta que se consume la leña). En definitiva, se puede concluir que, con un sistema basado en el consumo de leña para calefacción, predomina notoriamente el patrón de consumo D, viéndose con menos frecuencia los consumos punta de los patrones A, B y C, y constatándose un uso bajo pero frecuente de calefacción nocturna. Hay que aclarar que el uso de calefactores que requieren una operación manual, con periodos de encendido más prolongados y alimentación periódica de combustible, como es el caso de la leña, puede generar comportamientos de consumo distintos a lo que sería con un sistema automático de operación, que corresponde al caso de la calefacción distrital. Por lo tanto, no se puede concluir que, con un sistema de calefacción distrital, el comportamiento de consumo sería el mismo que en la actualidad.

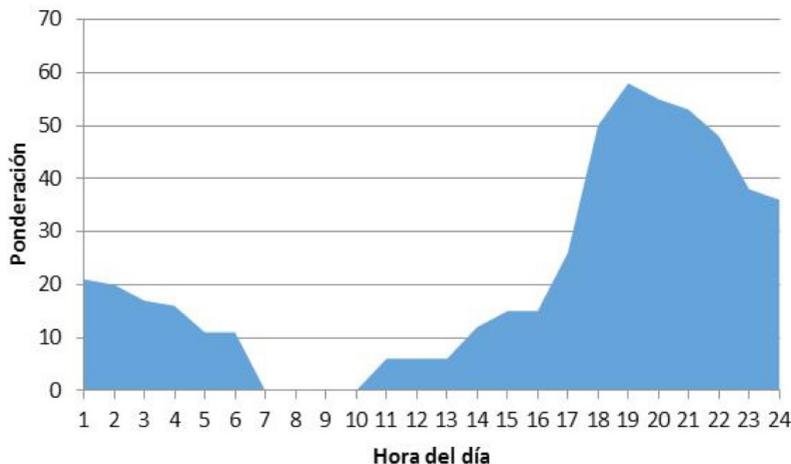


Figura 30: Patrón de consumo de calefacción en el sector del proyecto (puntuaciones según encuestas)

En las Tablas 38 y 39, se reportan el consumo (kWh/m^2) y el gasto por consumo (CLP/m^2) entre una situación y otra. En la Tabla 40, se agregan los cargos fijos definidos previamente y se calculan los gastos totales para la situación actual y la situación con proyecto, para una vivienda tipo de 120 m^2 . Se observa que el gasto anual en calefacción y ACS sería de $\text{CLP } 725.164$ con calefacción distrital versus $\text{CLP } 310.294$ con calefacción a leña y ACS con GLP. Al cambiar la leña por otros combustibles

fósiles, como sucede en algunas viviendas y en todos los departamentos, el gasto anual aumenta a CLP 516.923 con GN y a CLP 403.119 con GLP, un 40% y 80% inferior al gasto con calefacción distrital, respectivamente. Sin embargo, las cifras anteriores no son directamente comparables, ya que la situación con calefacción distrital está calculada para un pleno confort de la vivienda, lo que se obtendría con un aumento del consumo actual. Si se homologan los consumos, de tal forma de que con calefacción distrital se consume en igual cantidad que con la situación actual, entonces la comparación es más estrecha. En este último caso, el gasto anual sería de CLP 452.896 con calefacción distrital, un 46% mayor que con sistema tradicional, un 12% inferior al gasto con GN y un 12% superior al gasto con GLP. Se puede concluir, entonces, que el sistema de calefacción distrital diseñado puede llegar al precio de mercado de los combustibles fósiles, lo que es un logro para este tipo de proyectos. Para poder competir en precio con la leña, deben estudiarse algunos mecanismos de reducción del gasto.

Otra observación interesante y que no se había comentado hasta ahora, es que, en una situación con calefacción distrital, el fisco recaudaría un 324% más de IVA que en una situación de consumo de leña para calefacción. Al homologar los consumos, la recaudación sería un 164% mayor. Esto se debe a que la leña se adquiere, por lo general, en un mercado informal y que, por lo tanto, no paga impuestos. Al llevar a valor presente el incremento en recaudación fiscal por la implementación del proyecto, sólo considerando el desplazamiento de leña en el mercado informal, se obtiene una cifra del orden del 10% de la inversión inicial del proyecto (promedio entre consumo calculado y homologado).

Mes	Situación actual (kWh/m ²)							Calefacción distrital (kWh/m ²)		
	ACS	Calefacción			Total			ACS	Calefacción	Total
		Leña	GN	GLP	Leña	GN	GLP			
Enero	0,9	0	0	0	0,9	0,9	0,9	1,62	0	1,62
Febrero	0,9	0	0	0	0,9	0,9	0,9	1,65	0	1,65
Marzo	1,33	0,01	0,01	0,01	1,34	1,34	1,34	1,65	2,96	4,62
Abril	1,33	1,11	1	1	2,43	2,32	2,32	1,69	6,28	7,97
Mayo	1,33	5,83	5,25	5,25	7,16	6,58	6,58	1,73	7,67	9,4
Junio	1,51	6,29	5,66	5,66	7,8	7,17	7,17	1,74	11,56	13,31
Julio	1,51	6,29	5,66	5,66	7,8	7,17	7,17	1,76	12,17	13,94
Agosto	1,51	6,12	5,51	5,51	7,63	7,02	7,02	1,74	10,3	12,05
Septiembre	1,26	3,67	3,3	3,3	4,93	4,56	4,56	1,73	8,62	10,35
Octubre	1,26	0,09	0,08	0,08	1,35	1,34	1,34	1,71	6,64	8,35
Noviembre	1,26	0	0	0	1,26	1,26	1,26	1,67	4,62	6,3
Diciembre	0,9	0	0	0	0,9	0,9	0,9	1,65	0	1,65
Total anual	14,98	29,41	26,47	26,47	44,39	41,45	41,45	20,35	70,84	91,19

Tabla 38: Consumo anual por el servicio (kWh/m²)

Mes	Situación actual (CLP/m ²)							Calefacción distrital (CLP/m ²)		
	ACS	Calefacción			Total			ACS	Calefacción	Total
		Leña	GN	GLP	Leña	GN	GLP			
Enero	89,3	0	0	0	89,3	89,3	89,3	86,9	0	86,9
Febrero	89,3	0	0	0	89,3	89,3	89,3	88,9	0	88,9
Marzo	125,6	0,4	1,4	1,1	126	127	126,7	88,9	125,1	214
Abril	125,6	40,6	114,9	89,6	166,2	240,5	215,2	90,8	265,1	355,9
Mayo	125,6	228,9	605,9	472,5	354,5	731,5	598,1	92,7	323,9	416,6
Junio	140,4	248,6	653,5	509,6	389	793,9	650,1	93,7	488,4	582
Julio	140,4	248,6	653,5	509,6	389	793,9	650,1	94,6	514,1	608,8
Agosto	140,4	242,7	635,9	495,9	383,1	776,4	636,3	93,7	435,1	528,8
Septiembre	120,4	146,9	381,3	297,3	267,2	501,7	417,7	92,7	364,3	457
Octubre	120,4	2,1	9,5	7,4	122,5	129,9	127,8	91,8	280,4	372,1
Noviembre	120,4	0	0	0	120,4	120,4	120,4	89,8	195,2	285,1
Diciembre	89,3	0	0	0	89,3	89,3	89,3	88,7	0	88,7
Total anual	1.427,10	1.158,70	3.056,00	2.383,20	2.585,80	4.483,20	3.810,40	1.093,10	2.991,70	4.084,80

Tabla 39: Gasto anual por consumo (CLP/m²)

	Situación actual			Calefacción distrital	
	Calefacción leña (1)	Calefacción GN (2)	Calefacción GLP (3)	Consumo calculado (4)	Consumo homologado (5)
Cargo fijo (CLP/año)				107.625	107.625
Consumo calefacción día (CLP/año)	125.136	277.355	216.293	328.000	170.608
Consumo calefacción noche (CLP/año)	13.904			42.582	5.756
Consumo ACS (CLP/año)	143.912	157.035	122.463	131.174	96.596
IVA (CLP/año)	27.343	82.534	64.364	115.782	72.311
Total gasto mensual (CLP/año)	310.294	516.923	403.119	725.164	452.896
(1) Considera calefacción con leña, 90% en horario diurno y 10% nocturno, y ACS con GLP. Consumo leña no paga IVA. (2) Considera calefacción y ACS con GN, para la misma cantidad consumida en (1) en horario diurno y sin consumo nocturno. (3) Considera calefacción y ACS con GLP, para la misma cantidad consumida en (1) en horario diurno y sin consumo nocturno. (4) Considera los consumos calculados para un pleno confort de la vivienda según patrones definidos para calefacción distrital. (5) Considera un consumo idéntico a (1).					

Tabla 40: Gasto anual situación actual vs situación propuesta

6.7 Análisis Económico

6.7.1 Análisis de la tarifa

A partir de los montos definidos previamente en la Tabla 40, se deduce la necesidad de estudiar mecanismos de reducción de gastos, para poder competir con el consumo de leña para calefacción. Para ellos, se pueden adoptar algunas estrategias:

- Implementar instrumento de franquicia tributaria para descontar, del pago de impuesto a la renta de la empresa ESCO, parte del cargo fijo (p.e. cofinanciar la estación de transferencia). Con esto, se puede bajar la tarifa en hasta CLP 8,12/kWh, disminuyendo el gasto anual en hasta un 11,4%.
- Traspasar parte de los ingresos generados por la negociación del plan de compensación de emisiones, para reducir la tarifa por consumo (variable). Con esto, se puede bajar la tarifa en hasta CLP 7,10/kWh, disminuyendo el gasto anual en hasta un 10,0%.
- Rebajar el pago de IVA, considerando la mayor recaudación fiscal en relación a las viviendas que consumen leña. Con esto, se puede rebajar el gasto anual en hasta un 16,0%. Con una reducción del 50% del IVA, la recaudación sigue siendo mayor que con la situación actual.
- Una estrategia para rebajar el gasto de consumo en relación a la situación actual (no la tarifa directamente) es que la ESCO incorpore otras medidas de eficiencia energética en la vivienda, cuyo costo de inversión se puede amortizar incorporándolo en el cargo fijo. Esta medida no busca generar un nuevo flujo de ingresos, sino reducir el gasto de sus potenciales clientes, de manera de poder cautivarlos y fidelizarlos. También se puede estudiar el cobro del ahorro generado con estas medidas y traspasar dichos ingresos a una rebaja del servicio de calefacción distrital, así incentivar su consumo.

En la Tabla 41, se reportan los cálculos de escenarios de reducción de gasto anual, considerando la variación parcial de las variables comentadas anteriormente. También se agregó un escenario mixto, en el cual se reducen todas las variables previas en montos más reducidos. El gasto anual calculado en este último caso, para un consumo homologado, es de CLP 375.293, un 20,9% superior al gasto con leña. A pesar de que el gasto sigue siendo mayor, se puede presumir que, en un sector residencial

de un nivel socioeconómico ABC1, un estándar de confort considerablemente mayor justificará esta alza de un 20,9% en el gasto, a igual nivel de consumo. También se puede presumir que el nivel de consumo se puede acercar a los patrones definidos en este estudio, con lo cual el gasto aumentaría en un 92,1%, pero con un aumento en el consumo energético de un 105,4%.

	Impuesto a la renta (1)		Plan compensación (2)		Rebaja IVA (3)		Escenario mixto (4)	
	Consumo calculado (5)	Consumo homologado (6)	Consumo calculado (5)	Consumo homologado (6)	Consumo calculado (5)	Consumo homologado (6)	Consumo calculado (5)	Consumo homologado (6)
Cargo fijo (CLP/año)	107.625	107.625	107.625	107.625	107.625	107.625	107.625	107.625
Consumo calef. día (CLP/año)	290.827	151.272	282.873	147.135	328.000	170.608	281.535	146.439
Consumo calef. noche (CLP/año)	42.582	5.756	42.582	5.756	42.582	5.756	42.582	5.756
Consumo ACS (CLP/año)	116.308	85.648	113.127	83.306	131.174	96.596	112.592	82.912
IVA (CLP/año)	105.895	66.557	103.779	65.326	57.891	36.156	51.712	32.560
Total gasto mensual (CLP/año)	663.237	416.860	649.987	409.149	667.273	416.741	596.046	375.293

(1) Considera reducir el impuesto a la renta en un 75% vía instrumento de franquicia tributaria.
(2) Considera rebajar la tarifa de calefacción diurna y ACS, en una cantidad equivalente al 75% del valor unitario del plan de compensación.
(3) Considera una exención del 50% del pago de IVA.
(4) Considera rebaja del 50% al impuesto a la renta, rebaja de un 50% al ingreso por plan de compensación, y rebaja del IVA en un 50%.
(5) Considera los consumos calculados para un pleno confort de la vivienda según patrones definidos para calefacción distrital.
(6) Considera un nivel de consumo energético equivalente a como se da en la situación actual con calefacción a leña y ACS con GLP.

Tabla 41: Escenarios de reducción de gasto anual en calefacción distrital

6.7.2 Análisis de rentabilidad

Al analizar la rentabilidad del proyecto por cada ramal de la red (Tablas 42 y 43), se observa que los ramales s20 y p11 tienen rentabilidad levemente negativa, es decir, los ingresos que se generan de la venta por los clientes conectados en esos ramales no son suficientes para solventar el costo de la red. Al eliminar s20, el VAN aumenta en un 0,1%. Al eliminar p11 (que resulta de eliminar s16, s17 y s18), el VAN aumenta en un 13,0%. En este último caso, se observa que los ingresos por conectar el Colegio Concepción y los condominios Doña Cristina y Fernando de Aragón, no son suficientes para rentabilizar el tramo adicional de red. Hay que aclarar que sumar un nuevo tramo a la red aumenta el caudal de agua que pasa por ésta y, por consiguiente, el diámetro necesario para toda la red que antecede a ese tramo. Por lo tanto, para que dicho tramo resulte rentable, se debe aumentar la penetración de la calefacción distrital en los respectivos puntos de consumo, o aumentar la tarifa de venta.

Tramo	Inversión distribución		Inversión recuperación (CLP)	Inversión estudios (CLP)	Total inversión (CLP)	Ventas (CLP/año)	Costos operación (CLP/año)	Impuestos (CLP)	VAN (CLP)	IVAN
	Tramo (CLP)	Ramal (CLP)								
p1	134.029.311	856.284.085	210.850.000	70.000.000	1.137.134.085	303.934.535	110.255.573	42.029.820	346.978.409	0,3
p2	14.408.151	710.411.191	206.070.910	68.413.392	984.895.494	297.072.007	107.756.539	41.077.179	465.840.109	0,46
p3	9.717.125	684.159.457	201.291.821	66.826.784	952.278.063	290.209.478	105.257.506	40.124.539	465.080.648	0,48
p4	14.743.224	669.565.563	198.560.913	65.920.151	934.046.627	286.288.034	103.829.487	39.580.173	464.239.575	0,49
p5	2.680.586	649.945.570	195.830.004	65.013.518	910.789.092	282.366.589	102.401.467	39.035.807	468.424.600	0,5
p6	15.413.371	635.769.741	192.843.073	64.021.888	892.634.703	278.077.509	100.839.571	38.440.406	465.718.432	0,51
p7	37.528.207	611.299.513	189.713.908	62.983.038	863.996.459	273.584.187	99.203.299	37.816.653	472.502.759	0,54
p8	23.304.495	573.771.306	172.048.345	57.118.255	802.937.906	248.217.343	89.965.800	34.295.286	410.186.017	0,5
p9	30.397.167	501.238.911	161.252.723	53.534.222	716.025.856	232.715.382	84.320.661	32.143.338	421.702.054	0,58
p10	51.886.280	168.705.220	54.930.221	18.236.260	241.871.702	79.459.348	28.723.562	10.949.525	147.531.861	0,6
p11	28.075.628	64.346.143	10.262.803	3.407.143	78.016.089	15.319.220	5.366.522	2.045.737	-567.258	-0,01
p12	70.169.202	302.136.524	93.948.073	31.189.780	427.274.378	135.486.988	49.126.387	18.727.155	234.627.662	0,54
p13	50.566.377	219.110.645	88.544.012	29.395.688	337.050.345	127.144.671	46.300.549	17.649.935	281.336.036	0,81
p14	25.893.585	113.822.715	34.494.785	11.451.909	159.769.409	49.532.747	18.037.668	6.876.024	81.140.224	0,5

Tabla 42: Rentabilidad por ramales de la red primaria

Tramo	Distribución Tramo (CLP)	Inversión recuperación (CLP)	Inversión estudios (CLP)	Total inversión (CLP)	Ventas (CLP)	Costos operación (CLP/año)	Impuestos (CLP/año)	VAN (CLP)	IVAN
s1	4.876.769	2.730.908	906.633	8.514.311	3.921.445	1.428.019	544.366	10.786.987	1,23
s2	6.966.813	2.048.181	679.975	9.694.969	2.941.083	1.071.014	408.275	4.781.004	0,48
s3	4.876.769	2.730.908	906.633	8.514.311	3.921.445	1.428.019	544.366	10.786.987	1,23
s4	6.966.813	2.048.181	679.975	9.694.969	2.941.083	1.071.014	408.275	4.781.004	0,48
s5	4.876.769	2.730.908	906.633	8.514.311	3.921.445	1.428.019	544.366	10.786.987	1,23
s6	4.876.769	2.730.908	906.633	8.514.311	3.921.445	1.428.019	544.366	10.786.987	1,23
s7	11.495.242	2.986.931	991.630	15.473.803	4.289.080	1.561.896	595.400	5.636.992	0,36
s8	3.831.747	1.422.348	472.205	5.726.300	2.042.419	743.760	283.524	4.326.459	0,74
s9	5.225.110	1.706.818	566.646	7.498.573	2.450.903	892.512	340.229	4.564.738	0,6
s10	49.227.900	10.795.622	3.584.034	63.607.555	15.501.961	5.645.139	2.151.947	12.692.888	0,2
s11	9.632.498	4.380.832	1.454.391	15.467.721	6.290.651	2.290.781	873.254	15.494.778	0,98
s12	20.602.843	4.642.544	1.541.276	26.786.663	6.666.456	2.427.633	925.422	6.025.543	0,22
s13	9.785.395	3.072.272	1.019.962	13.877.629	4.411.625	1.606.522	612.412	7.836.331	0,55
s14	6.265.369	22.757.569	7.555.275	36.578.214	32.678.705	11.900.160	4.536.384	124.265.935	3,21
s15	6.186.692	9.814.202	3.258.213	19.259.106	14.092.692	5.131.944	1.956.316	50.104.933	2,48
s16	11.925.950	3.686.726	1.223.955	16.836.631	5.293.950	1.927.826	734.894	9.220.121	0,54
s17	16.512.854	4.540.135	1.507.277	22.560.266	6.519.402	2.374.082	905.009	9.528.141	0,41
s18	7.831.711	2.035.941	675.911	10.543.564	3.505.868	1.064.614	405.835	9.619.899	0,9
s19	7.262.598	3.368.120	1.118.181	11.748.899	4.836.448	1.761.224	671.385	12.056.035	1
s20	8.151.172	1.365.454	453.317	9.969.942	1.960.722	714.010	272.183	-319.293	-0,03
s21	5.594.080	2.035.941	675.911	8.305.932	3.505.868	1.064.614	405.835	11.857.531	1,4
s22	6.827.477	2.773.579	920.799	10.521.855	3.982.717	1.450.332	552.872	9.081.026	0,84
s23	18.913.601	5.484.574	1.820.821	26.218.997	7.875.568	2.867.939	1.093.269	12.544.443	0,47
s24	12.537.537	4.599.874	1.527.110	18.664.521	6.605.183	2.405.320	916.917	13.846.103	0,73
s25	8.291.766	39.825.746	13.221.732	61.339.244	57.187.734	20.825.281	7.938.672	220.138.017	3,39
s26	39.329.685	12.801.133	4.249.842	56.380.660	18.381.772	6.693.840	2.551.716	34.094.174	0,59
s27	19.090.364	5.803.180	1.926.595	26.820.139	8.333.070	3.034.541	1.156.778	14.195.119	0,52
s28	10.779.224	5.734.907	1.903.929	18.418.061	8.235.034	2.998.840	1.143.169	22.114.665	1,17
s29	9.938.292	5.376.476	1.784.934	17.099.701	7.720.344	2.811.413	1.071.721	20.899.729	1,19
s30	8.791.566	4.779.090	1.586.608	15.157.263	6.862.528	2.499.034	952.641	18.620.008	1,19

Tabla 43: Rentabilidad por ramales de la red secundaria

6.7.3 Análisis de escenarios

En esta sección, se mide la sensibilidad de la evaluación a las variables que parecen más interesantes de analizar:

- Penetración del servicio
- Consumo de calor
- Retorno sobre el capital
- Costos de inversión/operación

La sensibilidad de estas variables se evalúa una a una, manteniendo todos los demás factores constantes. Esto permite evaluar el efecto de dicha variable en forma aislada. Siempre que el escenario observado sea más favorable que el escenario base de estimación, el aumento de margen se puede traspasar a rebaja tarifaria (un aumento en la tarifa sería necesario en la situación opuesta).

6.7.3.1 Análisis de la penetración del servicio

Se evaluaron 5 escenarios-meta de aumento de la penetración del servicio:

- **Escenario 1:** Aumento de la penetración del servicio de un 60% a un 90% en los edificios que no cuentan actualmente con calefacción central.

- **Resultado:** El VAN aumenta en un 34,3%, con un IVAN de 0,40 (40% de retorno sobre el capital). Se requiere una potencia de 3.011 kW en el economizador (límite de su capacidad). El VAN con plan de compensación aumenta en un 19,2%, con un IVAN de 0,64.
- **Escenario 2:** Aumento en la penetración del servicio en viviendas desde un 60% a un 70%.
- **Resultado:** El van aumenta en un 49,9%, con un IVAN de 0,44. Se requiere una potencia de 3,164 kW en el economizador (excede límite de capacidad). El VAN con plan de compensación aumenta en un 27,9%, con un IVAN de 0,67.
- **Escenario 3:** Aumento en la penetración del servicio en viviendas desde un 60% a un 80%.
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 104,1%, con un IVAN de 0,58. Se requiere una potencia de 3.411 kW en el economizador (excede límite de capacidad). El VAN con plan de compensación aumenta en un 58,2%, con un IVAN de 0,80.
- **Escenario 4:** Escenario 1 + Escenario 2
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 88,2%, con un IVAN de 0,54. Se requiere una potencia de 3.268 kW en el economizador (excede límite de capacidad). El VAN con plan de compensación aumenta en un 49,3%, con un IVAN de 0,76.
- **Escenario 5:** Escenario 1 + Escenario 3
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 140,2%, con un IVAN de 0,67. Se requiere una potencia de 3.516 kW en el economizador (excede límite de capacidad). El VAN con plan de compensación aumenta en un 78,4%, con un IVAN de 0,89.

Se evaluaron 4 escenarios no deseados de penetración del servicio:

- **Escenario 6:** Disminución de la penetración del servicio en viviendas a un 50%.
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 50,6%, con un IVAN de 0,15. El VAN con plan de compensación disminuye en un 28,3%, con un IVAN de 0,39.
- **Escenario 7:** Disminución de la penetración del servicio en viviendas a un 40%.
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 113,2%, con un IVAN de -0,04. El valor mínimo para viabilizar el sistema sin tener que aumentar la tarifa, es de un 41% de penetración en viviendas, manteniendo otras variables constantes. El VAN con plan de compensación disminuye en un 63,3%, con un IVAN de 0,20.
- **Escenario 8:** Disminución de la penetración del servicio en edificios con calefacción central a un 85% y sin calefacción central a un 50%.
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 26,3%, con un IVAN de 0,22. El VAN con plan de compensación disminuye en un 15,1%, con un IVAN de 0,46.
- **Escenario 9:** Escenario 6 + Escenario 8
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 78,0%, con un IVAN de 0,07. El VAN con plan de compensación disminuye en un 43,6%, con un IVAN de 0,31.

6.7.3.2 Análisis del consumo de calor

- **Escenario 10:** Aumento de un 10% de consumo en calefacción y ACS.
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 64,0%, con un IVAN de 0,49. El VAN con plan de compensación aumenta en un 35,8%, con un IVAN de 0,73.
- **Escenario 11:** Aumento de un 20% de consumo en calefacción y ACS.
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 128,0%, con un IVAN de 0,68. El VAN con plan de compensación aumenta en un 71,6%, con un IVAN de 0,92.

- **Escenario 12:** Disminución de un 10% de consumo en calefacción y ACS.
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 64,1%, con un IVAN de 0,11. El VAN con plan de compensación disminuye en un 35,9%, con un IVAN de 0,34.
- **Escenario 13:** Disminución de un 20% de consumo en calefacción y ACS.
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 128,4%, con un IVAN de -0,09. El consumo puede disminuir un máximo de un 15,5% para viabilizar el sistema (VAN=0). El VAN con plan de compensación disminuye en un 71,8%, con un IVAN de 0,15.

6.7.3.3 Análisis del retorno sobre el capital

- **Escenario 14:** Aumento del 30% al 40% de retorno sobre el capital.
- **Resultado:** La tarifa variable aumenta en un 5,6%.
- **Escenario 15:** Aumento del 30% al 50% de retorno sobre el capital.
- **Resultado:** La tarifa variable aumenta en un 11,2%.
- **Escenario 16:** Aumento del 30% al 60% de retorno sobre el capital.
- **Resultado:** La tarifa variable aumenta en un 16,8%.

6.7.3.4 Análisis de los costos de inversión

- **Escenario 17:** Disminución de los costos de la red de distribución en un 20%.
- **Resultado:** La tarifa variable disminuye en un 10,8%.
- **Escenario 18:** Aumento de los costos de la red de distribución en un 20%.
- **Resultado:** La tarifa variable aumenta en un 10,8%.

6.7.3.5 Análisis de escenarios combinados

Los escenarios de retorno sobre el capital y costos de inversión, tienen una repercusión directa sobre la tarifa del servicio, lo que genera, causalmente, un efecto sobre las variables de penetración del servicio y consumo de calor. Por lo tanto, se puede analizar la sensibilidad del proyecto por el lado del precio (comparativa con otras alternativas en el mercado) o por el lado de la rentabilidad (indicadores financieros). En esta ocasión, se definió un escenario optimista y uno pesimista por el lado de la penetración del servicio y el consumo de calor.

- **Escenario 19:** Escenario 9 + Escenario 12 (Escenario pesimista)
- **Resultado:** El VAN disminuye en un 143,8% y se hace negativo (CLP -152.062.365), con un IVAN de -0,13. El VAN con plan de compensación disminuye en un 74,9%, con un IVAN de 0,14.
- **Escenario 20:** Escenario 5 + Escenario 10 (Escenario optimista)
- **Resultado:** El VAN aumenta en un 220,4% (VAN=CLP 1.111.749.842), con un IVAN de 0,90. El VAN con plan de compensación aumenta en un 108,4%, con un IVAN de 1,12.

Se evaluaron los consumos de calefacción y ACS de acuerdo a los patrones de consumo que podrían darse en una situación con proyecto, y se compararon con los patrones observados en viviendas del sector. Los consumos en calefacción calculados para un sistema distrital resultaron mayores que los consumos reportados por viviendas del sector en condiciones actuales. Esto se debe a que se consideró una temporada de calefacción más prolongada (marzo-noviembre), en comparación al patrón de consumo actual (abril-septiembre). Los consumos reportados en el sector parecen también algo bajos, en relación a otras referencias. Además, se consideraron estándares de confort térmico superiores (consumo frecuente de calefacción nocturna y durante varios periodos del día). El bajo estándar de calefacción en Chile es un tema que se discute permanentemente en foros especializados. Cuando se evalúa la introducción de un sistema distrital, también se considera elevar el estándar de consumo, lo que es consistente con esta evaluación.

Los resultados arrojaron una mejor relación calidad/precio en un sistema distrital que en la situación actual, lo que permite elevar el estándar de consumo para un mismo nivel de gasto. Esto se evidenció en viviendas y departamentos que consumen energéticos fósiles, mientras que el gasto anual resulta un 46% superior al reportado en viviendas del sector que consumen leña para calefacción y GLP para ACS (escenario más desfavorable de comparación) al homologar los niveles de consumo. Por lo tanto, para lograr un porcentaje de penetración alto en viviendas consumidoras de leña, se deben estudiar mecanismos de reducción de tarifa. Sin embargo, no está en riesgo la viabilidad económica del proyecto, por cuanto se puede sustentar en las viviendas consumidoras de combustibles fósiles.

La rentabilidad económica del proyecto, evaluada con una tasa de descuento del 10% y en un horizonte de 50 años, arrojó un VAN de 347,0 millones de pesos, con una inversión inicial de 1.156,6 millones de pesos (IVAN=0,30), una TIR de 13,1% y un payback de 7,63 años. La rentabilidad del proyecto demostró ser sensible al nivel de consumo de calor y al porcentaje de penetración del servicio, ambas variables influenciadas directamente por el precio de venta. Por lo tanto, tendría una alta repercusión en el proyecto el aplicar estrategias de reducción de tarifa (suponiendo que la demanda es elástica al precio). Algunas estrategias para reducir la tarifa o el gasto anual, permitirían mejorar el escenario base (aumento en el consumo por vivienda, aumento en la penetración del servicio), lo que se traduciría en un aumento en el volumen de ventas y una disminución de costos unitarios para el proyecto; por lo tanto, una reducción en la tarifa no implica, necesariamente, una reducción en la rentabilidad del proyecto. En escenarios extremos, el VAN se movería en un rango (-144%;+220%). En escenarios muy negativos, el VAN se acerca también a valores negativos. Sin embargo, es improbable que estos escenarios se den en la realidad, si la tarifa del servicio es similar o inferior a la competencia. Por lo tanto, la evaluación resulta robusta en distintos escenarios que se pueden dar en una situación real.

También se evaluó el volumen de MP10, M2,5 y GEI que se podría eliminar con la introducción del proyecto. Producto de su implementación, se podría eliminar un volumen de entre 4,35 y 4,57 ton/año de MP 2,5, entre 4,70 y 4,97 ton/año de MP10, entre 79,9 y 84,7 ton/año de CO, entre 40,7 y 48,6 ton/año de COV, 0,82 ton/año de NO_x, 0,17 ton/año de SO₂ y 406,3 ton/año de CO₂. Este proyecto de reducción de emisiones atmosféricas puede ser ingresado al banco de proyectos de compensación de emisiones del Ministerio del Medio Ambiente, para ser negociado con alguna entidad que se encuentre en la obligación de reducir sus emisiones atmosféricas con la entrada en vigencia del nuevo PPDA de Concepción Metropolitano. El valor transable de dicho plan de compensación se valorizó en 364,60 millones de pesos, monto que equivale a la inversión necesaria para materializar un plan de recambio de calefactores que permita eliminar la misma cantidad de MP del aire. Al introducir estos ingresos en la evaluación, la rentabilidad aumenta notoriamente. La operación de toda la cadena de valor del proyecto permitiría obtener una rentabilidad del 54% del capital invertido en un horizonte de 50 años, con una TIR de 15,5%, mientras que la inversión se amortizaría en 6,45 años.

A raíz de los análisis anteriores, se estudiaron algunas estrategias para reducir la tarifa del servicio. En primer lugar, la redistribución de los ingresos generados por la venta del proyecto de compensación de emisiones, a la tarifa del servicio, permitiría reducir el gasto anual en calefacción en hasta un 10,0%.

Por otra parte, la implementación de una franquicia tributaria en el impuesto a la renta, para reducir el gasto fijo del servicio, permitiría reducir el gasto anual en calefacción en hasta un 11,4%. Por último, considerando que la recaudación fiscal resulta mayor en un escenario con calefacción distrital, en relación al consumo de leña para calefacción (debido a que ésta se adquiere en un mercado informal), sólo considerando una exención del IVA se podría reducir el gasto anual en calefacción en hasta un 16,0%. En definitiva, se podría plantear una estrategia mixta para rebajar parcialmente estas variables. En un escenario en que se redistribuya un 50% de los ingresos generados por la venta del proyecto de compensación de emisiones, se reconozca una franquicia tributaria que permita descontar el pago del 50% del impuesto a la renta por la operación del servicio y se considere una exención del 50% del IVA por la venta del servicio (la recaudación fiscal sigue siendo mayor a la situación base de comparación), entonces el gasto anual en calefacción y ACS se puede reducir en un 17,1%, con lo cual resulta un 20,9% mayor que en la situación con calefacción a leña y ACS con GLP. A pesar de que el gasto sigue siendo mayor, se puede presumir que, en un sector residencial de un nivel socioeconómico medio-alto, un estándar de confort considerablemente mayor justificará esta alza de un 20,9% en el gasto, a igual nivel de consumo, y permitirá incluso elevar el consumo para conseguir un estándar de calefacción adecuado. Además, es importante destacar que los sistemas de calefacción distrital no tendrán restricciones para operar en periodos de alerta, pre-emergencia o emergencia ambiental, como sí ocurrirá con el uso de leña.

8

Anexos

8.1 Anexo1: Especificaciones Técnicas del Economizador

8.2 Anexo 2: Cálculo de Cargas Térmicas en Viviendas.

Tabla A1: Cálculo de ganancias térmicas por aportaciones internas

Vivienda	Calor sensible iluminación		Calor sensible ocupantes		Calor sensible aparatos		Ganancia total (kW)
	Habitaciones	Ganancia (W)	Habitantes	Ganancia (W)	Potencia (W)	Ganancia (W)	
1	8	37,5	4	93	13000	1170	1,3
2	8	37,5	4	93	13000	1170	1,3
3	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
4	10	46,9	4,5	104,6	14000	1260	1,41
5	10	46,9	3	69,7	11000	990	1,11
6	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
7	4	18,8	3	69,7	11000	990	1,08
8	6	28,1	3,5	81,3	12000	1080	1,19
9	6	28,1	3,5	81,3	12000	1080	1,19
10	7	32,8	4	93	13000	1170	1,3
11	6	28,1	3,5	81,3	12000	1080	1,19
12	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
13	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
14	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
15	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
16	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
17	10	46,9	4	93	13000	1170	1,31
18	10	46,9	4,5	104,6	14000	1260	1,41
19	10	46,9	4,5	104,58	14000	1260	1,41
20	10	46,9	4	92,96	13000	1170	1,31
21	15	70,3	4,5	104,58	24000	2160	2,33
22	12	56,3	4,5	104,58	19000	1710	1,87
23	10	46,9	4	92,96	13000	1170	1,31
24	7	32,8	4	92,96	13000	1170	1,3
25	12	56,3	4,5	104,58	14000	1260	1,42
26	12	56,3	4,5	104,58	14000	1260	1,42
27	12	56,3	4,5	104,58	14000	1260	1,42
28	12	56,3	4,5	104,58	14000	1260	1,42
29	12	56,3	4,5	104,58	14000	1260	1,42

Tabla A2: Cálculo de carga térmica en viviendas por pérdidas de la envolvente (continúa)

Vivienda	Concepto	Muro exterior					Total
		1er piso	2o piso	Ventana	Piso	Techo	
1	Superficie (m ²)	25,5	24	10,5	12	63	
	Transmitancia (W/m ² °C)	2,4	2,4	5,7	1,4	1	
	Carga térmica (kW)	0,98	0,92	0,96	0,27	1,01	4,14
2	Superficie (m ²)	42,5	42,5	15	20	50	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,16	1,16	1,37	0,38	0,3	4,37
3	Superficie (m ²)	72,5	52,5	15	32	60	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,97	1,43	1,37	0,61	0,36	5,75
4	Superficie (m ²)	71	58,5	18	32	67	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,93	1,59	1,64	0,61	0,41	6,19
5	Superficie (m ²)	79,25		12	36,5	92	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,9		5,7	1,2	0,6	
	Carga térmica (kW)	2,41		1,09	0,7	0,88	5,09
6	Superficie (m ²)	43,75	43,75	15	20,5	100	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,9	1,9	5,7	1,2	0,6	
	Carga térmica (kW)	1,33	1,33	1,37	0,39	0,96	5,38
12	Superficie (m ²)	77,5	22,5	15	34	100	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	2,11	0,61	1,37	0,65	0,61	5,35
13	Superficie (m ²)	24	24	12	12	60	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,3	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	0,65	0,65	1,02	0,23	0,36	2,92
14	Superficie (m ²)	42,5	42,5	15	20	60	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,3	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,16	1,16	1,27	0,38	0,36	4,33
15	Superficie (m ²)	60	60	15	27	55	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,63	1,63	1,37	0,52	0,33	5,48
16	Superficie (m ²)	65	65	20	30	90	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,77	1,77	1,82	0,58	0,55	6,48
17	Superficie (m ²)	70	70	20	32	100	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	1,9	1,9	1,82	0,61	0,61	6,85

Tabla A3: Cálculo de carga térmica en viviendas por pérdidas de la envolvente

Vivienda	Concepto	Muro exterior					Total
		1er piso	2o piso	Ventana	Piso	Techo	
18	Superficie (m ²)	74	74	22	34	120	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	1,2	0,4	
	Carga térmica (kW)	2,01	2,01	2,01	0,65	0,73	7,41
19	Superficie (m ²)	99	14	12	42	160	
	Transmitancia (W/m ² °C)	99	14	12	42	160	
	Carga térmica (kW)	3,17	0,45	1,09	0,81	1,28	6,8
20	Superficie (m ²)	89	9	12	38	140	
	Transmitancia (W/m ² °C)	89	9	12	38	140	
	Carga térmica (kW)	2,85	0,29	1,09	0,73	1,12	6,08
21	Superficie (m ²)	135	10	30	60	375	
	Transmitancia (W/m ² °C)	135	10	30	60	375	
	Carga térmica (kW)	3,67	0,27	2,4	1,15	2,28	9,78
22	Superficie (m ²)	142,5	97,5	20	61	260	
	Transmitancia (W/m ² °C)	142,5	97,5	20	61	260	
	Carga térmica (kW)	4,33	2,96	1,82	1,17	2,08	12,37
23	Superficie (m ²)	104	9	12	44	170	
	Transmitancia (W/m ² °C)	104	9	12	44	170	
	Carga térmica (kW)	3,16	0,27	1,09	0,84	1,36	6,73
25	Superficie (m ²)	92,5	20	15	40	350	
	Transmitancia (W/m ² °C)	92,5	20	15	40	350	
	Carga térmica (kW)	2,81	0,61	1,2	0,77	2,8	8,19
26	Superficie (m ²)	76,5	92,75	12	33	200	
	Transmitancia (W/m ² °C)	76,5	92,75	12	33	200	
	Carga térmica (kW)	2,33	2,82	1,09	0,63	1,6	8,47
27	Superficie (m ²)	107,5	15	15	46	300	
	Transmitancia (W/m ² °C)	107,5	15	15	46	300	
	Carga térmica (kW)	3,27	0,46	1,37	0,88	2,4	8,38
28	Superficie (m ²)	109	84	12	46	250	
	Transmitancia (W/m ² °C)	109	84	12	46	250	
	Carga térmica (kW)	3,31	2,55	1,09	0,88	2	9,84
29	Superficie (m ²)	109	84	12	46	250	
	Transmitancia (W/m ² °C)	109	84	12	46	250	
	Carga térmica (kW)	3,31	2,55	1,09	0,88	2	9,84

Tabla A4: Cálculo de carga térmica en departamentos por pérdidas de la envolvente

Vivienda	Concepto	Muro exterior			Total
		Ambiente	Edificio	Ventana	
7	Superficie (m ²)	30,5	25	12	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	
	Carga térmica (kW)	0,83	0,21	1,09	2,14
8	Superficie (m ²)	32,5	25	15	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	5,7	
	Carga térmica (kW)	0,88	0,21	1,37	2,46
9	Superficie (m ²)	32,5	25	15	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	3	
	Carga térmica (kW)	0,88	0,21	0,72	1,82
10	Superficie (m ²)	31,25	35	20	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	3	
	Carga térmica (kW)	0,85	0,3	0,96	2,11
11	Superficie (m ²)	32,5	25	15	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,5	1,5	5,7	
	Carga térmica (kW)	0,78	0,19	1,37	2,34
24	Superficie (m ²)	46,25	21,25	20	
	Transmitancia (W/m ² °C)	1,7	1,7	3	
	Carga térmica (kW)	1,26	0,18	0,96	2,4

Tabla A5: Cálculo de carga térmica en viviendas por filtraciones de aire (continúa)

Vivienda	Concepto	Valor	Vivienda	Concepto	Valor
1	Volumen (m ³)	300	16	Volumen (m ³)	270
	Infiltraciones (ren/h)	1,2		Infiltraciones (ren/h)	0,8
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,94		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,16
2	Volumen (m ³)	240	17	Volumen (m ³)	320
	Infiltraciones (ren/h)	1		Infiltraciones (ren/h)	0,8
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,29		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,38
3	Volumen (m ³)	240	18	Volumen (m ³)	350
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	0,8
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,04		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,51
4	Volumen (m ³)	318	19	Volumen (m ³)	320
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,37		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,73
5	Volumen (m ³)	225	20	Volumen (m ³)	262,5
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,97		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,42

Tabla A6: Cálculo de carga térmica en viviendas por filtraciones de aire

Vivienda	Concepto	Valor	Vivienda	Concepto	Valor
6	Volumen (m ³)	243,8	21	Volumen (m ³)	687,5
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,05		Pérdidas infiltraciones (kW)	3,71
7	Volumen (m ³)	150	22	Volumen (m ³)	602,5
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,65		Pérdidas infiltraciones (kW)	3,25
8	Volumen (m ³)	187,5	23	Volumen (m ³)	330
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,81		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,78
9	Volumen (m ³)	187,5	24	Volumen (m ³)	312,5
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	0,8
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,81		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,35
10	Volumen (m ³)	250	25	Volumen (m ³)	280
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,08		Pérdidas infiltraciones (kW)	1,51
11	Volumen (m ³)	187,5	26	Volumen (m ³)	406,3
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,81		Pérdidas infiltraciones (kW)	2,19
12	Volumen (m ³)	262,5	27	Volumen (m ³)	472,5
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,13		Pérdidas infiltraciones (kW)	2,55
13	Volumen (m ³)	240	28	Volumen (m ³)	525
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,04		Pérdidas infiltraciones (kW)	2,83
14	Volumen (m ³)	240	29	Volumen (m ³)	525
	Infiltraciones (ren/h)	0,8		Infiltraciones (ren/h)	1
	Pérdidas infiltraciones (kW)	1,04		Pérdidas infiltraciones (kW)	2,83
15	Volumen (m ³)	225			
	Infiltraciones (ren/h)	0,8			
	Pérdidas infiltraciones (kW)	0,97			

Tabla A7: Cálculo de carga térmica en viviendas por filtraciones de aire

Tipología vivienda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Superficie construida (m ²)	120	105	100	120	90	97,5	60	75	75	100
Pérdidas por transmitancia térmica de la envolvente (kW)	4,14	4,37	5,75	6,19	5,09	5,38	2,14	2,46	1,82	2,11
Pérdidas por infiltraciones de aire (kW)	1,94	1,29	1,04	1,37	0,97	1,05	0,65	0,81	0,81	1,08
Ganancias por aportaciones internas (kW)	1,3	1,3	1,31	1,41	1,11	1,31	1,08	1,19	1,19	1,3
Total carga térmica vivienda (kW)	4,78	4,36	5,47	6,15	4,95	5,12	1,71	2,08	1,44	1,89

N° viviendas proyecto	44	10	5	5	14	26	46	46	58	80
Potencia total por grupo viviendas (kW)	210	44	27	31	69	133	78	96	83	151

Demanda térmica vivienda (W/°C)	76	70	88	98	79	82	27	33	23	30
Demanda térmica grupo viviendas (kW/°C)	3,36	0,7	0,44	0,49	1,11	2,13	1,25	1,53	1,33	2,42

Tipología vivienda	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Superficie construida (m ²)	75	140	96	96	90	108	128	140	148	120
Pérdidas por transmitancia térmica de la envolvente (kW)	2,34	5,35	2,92	4,33	5,48	6,48	6,85	7,41	6,8	6,08
Pérdidas por infiltraciones de aire (kW)	0,81	1,13	1,04	1,04	0,97	1,16	1,38	1,51	1,73	1,42
Ganancias por aportaciones internas (kW)	1,19	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,41	1,41	1,31
Total carga térmica vivienda (kW)	1,95	5,17	2,64	4,06	5,15	6,34	6,92	7,51	7,11	6,19

N° viviendas proyecto	59	11	9	8	12	12	7	5	13	7
Potencia total por grupo viviendas (kW)	115	57	24	32	62	76	48	38	92	43

Demanda térmica vivienda (W/°C)	31	83	42	65	82	101	111	120	114	99
Demanda térmica grupo viviendas (kW/°C)	1,85	0,91	0,38	0,52	0,99	1,22	0,78	0,6	1,48	0,69

Tipología vivienda	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Superficie construida (m ²)	325	241	147	125	250	170	252	210	210
Pérdidas por transmitancia térmica de la envolvente (kW)	9,78	12,37	6,73	2,4	8,19	8,47	8,38	27,84	27,84
Pérdidas por infiltraciones de aire (kW)	3,71	3,25	1,78	1,35	1,51	2,19	2,55	2,83	2,83
Ganancias por aportaciones internas (kW)	2,33	1,87	1,31	1,3	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
Total carga térmica vivienda (kW)	11,15	13,75	7,2	2,45	8,28	9,24	9,5	29,25	29,25

N° viviendas proyecto	5	13	19	118	30	20	13	15	13
Potencia total por grupo viviendas (kW)	56	179	137	289	248	185	124	439	380

Demanda térmica vivienda (W/°C)	178	220	115	39	132	148	152	468	468
Demanda térmica grupo viviendas (kW/°C)	0,89	2,86	2,19	4,63	3,97	2,96	1,98	7,02	6,08

8.3 Anexo 3: Cuestionario de Levantamiento en Terreno

I. TIPOS DE COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL HOGAR

1.1) Usted utilice leña como combustible en su hogar. 1.Si 2.No

1.2) ¿Tiene pensado comprar/renovar una estufa o cocina a leña ? 1.Si 2.No

SI RESPONDE NO, PASE A PREGUNTA 1.3), SI RESPONDE SI PASE A LA PREGUNTA 1.4)

1.3) ¿Qué energético utiliza para calefaccionar su vivienda?

- | | | |
|--------------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> Parafina | <input type="checkbox"/> Electricidad | <input type="checkbox"/> Otro, especificar _____ |
| <input type="checkbox"/> Gas licuado | <input type="checkbox"/> Carbon vegetal | <input type="checkbox"/> No sabe |
| <input type="checkbox"/> Gas natural | <input type="checkbox"/> No utiliza calefacción | <input type="checkbox"/> No responde |

PASE A PREGUNTA 5.1) SECCIÓN V

1.4) ¿Hace cuánto tiempo usted ocupa leña en su hogar? _____ Años

1.4) ¿Hace cuánto tiempo usted tiene su artefacto a leña actual? _____ Años

1.5) ¿Cual es su gasto normalmente en la compra de leña según la temporada?

Combustible	Invierno	Verano
	Gasto	Gasto
Leña o sus derivados	\$/mes	\$/mes

1.6) ¿Por que utiliza leña o rastrojos?. (Identificar 3 principales razones).

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 1.Porque es más económico | <input type="checkbox"/> 6.Porque calienta más |
| <input type="checkbox"/> 2.Es fácil de obtener | <input type="checkbox"/> 7.Porque es caro comprar otro tipo de equipo calefactor |
| <input type="checkbox"/> 3.Contamina menos | <input type="checkbox"/> 8.Otra, especificar _____ |
| <input type="checkbox"/> 4.Para no depender de un sólo proveedor | <input type="checkbox"/> 9.No sabe |
| <input type="checkbox"/> 5.Por costumbre o hábito | <input type="checkbox"/> 10.No responde |

III. CUANTIFICACIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA

3.1) ¿En que unidad compra usted adquiere la leña o rastrojos a su hogar,? .
(Para cada caso, marque todas las que corresponda, máximo 3 opciones)

- | | | |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Camioneta L C | <input type="checkbox"/> 6. Por saco | <input type="checkbox"/> 10..m ³ a granel o tirado |
| <input type="checkbox"/> 2. Triciclo | <input type="checkbox"/> 7..Por canasto | <input type="checkbox"/> 11. Otra, _____ |
| <input type="checkbox"/> 3.Carretilla de mano | <input type="checkbox"/> 8..Por kilo | <input type="checkbox"/> 12.No sabe |
| <input type="checkbox"/> 4. Por unidad (astilla) | <input type="checkbox"/> 9..m ³ estereo | <input type="checkbox"/> 13.No responde |

3.2) ¿Que especies de árboles o arbustos utiliza frecuentemente para leña ? (Identifique según escala de valor de 1 a 3 si corresponde, siendo 1 la más importante)

- | | | |
|---------------------------------------|--|--|
| <input type="checkbox"/> 1.Hualle | <input type="checkbox"/> 5.Pino | <input type="checkbox"/> 9.Nativas (especificar) _____ |
| <input type="checkbox"/> 2.Eucaliptus | <input type="checkbox"/> 6.Mixto | <input type="checkbox"/> 10.Frutales (especificar) _____ |
| <input type="checkbox"/> 3.Aromo | <input type="checkbox"/> 7.No sabe | <input type="checkbox"/> 11.Otra (especificar) _____ |
| <input type="checkbox"/> 4.Espino | <input type="checkbox"/> 8.No responde | |

3.3) ¿Cuanta leña ha consumido hasta la fecha en cada mes?, según su experiencia , ¿cuanto cree usted que consumirá en los siguientes meses? (Indicar la unidad de compra, especie, precio y cantidad según la unidad)

LEÑA								UNIDAD _____				
ESPECIE _____								PRECIO _____				
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
LEÑA								UNIDAD _____				
ESPECIE _____								PRECIO _____				
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
RASTROJOS								UNIDAD _____				
FORMA DE ADQUIRIR _____								ESPECIE _____				
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL

Ojo: la unidad de la tabla 3.3) debe ser consistente con la unidad de la pregunta 3.1)

IV. USO DE COMBUSTIBLE LEÑA EN EL HOGAR Y TIPO DE EQUIPAMIENTO

4.1) Indicar los equipos utilizados con combustibles de leña en el hogar. (Identifique para cada uno de los equipos el tipo, la antigüedad y marca)

Actividad	Característica del equipo			¿Cada cuanto tiempo realiza mantenimiento al equipo?, (meses)	C ¿Que usa para encender el equipo?	¿Cuanto demora en encender el equipo? (minutos)	D ¿Quema otra cosa además de leña?
	A Tipo(s) de equipos	B Marca	D Antigüedad (años)				
Cocina							
Calefacción							
Calentar agua ducha							
Otro							

Tipos de equipos (A)

1. Cocina de fierro
2. Chimenea
3. Combustión lenta doble cámara
4. Combustión lenta cámara simple
5. Salamandra
6. Estufa de lata
7. Horno de barro
8. Otro _____
9. No sabe
10. No responde

Marca del equipo (B)

1. Amesti
2. Bosca
3. Pucón
4. Trotter
5. Otra _____
6. No sabe
7. No responde

Como enciende el equipo (C)

1. Papeles
2. Palitos o astillas
3. Cera
4. Parafina
5. Bolsas o botellas plásticas
6. Briquetas (partidores)
7. Otro, _____
8. No sabe
9. No responde

Quemas varias (D)

1. Papeles
2. Basura
3. Hojas
4. Plásticos (bolsas, botellas)
5. Otro _____
6. No sabe

Uso del tiraje (E)

1. Totalmente abierto
2. Parcialmente cerrado
3. Totalmente cerrado
4. Otro _____
5. No aplica
6. No sabe
7. No responde

4.2) ¿Durante el día cuando y cómo utiliza sus equipos de combustión de leña?

Equipo (s)	Periodo	Intensidad de uso	Tiraje (E)
Cocina a leña	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Mayor	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Intermedio	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Menor	
Equipo _____	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Mayor	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Intermedio	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Menor	
Equipo _____	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Mayor	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Intermedio	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	Menor	

V. USO DE ENERGIA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

5.1) ¿De que forma usted calienta el agua de la ducha en su hogar?

- 1.Calefont 2.Termo eléctrico 3.Caldera 4.Otro _____

5.2) ¿Qué energético utiliza para calentar agua para la ducha?

- 1.Gas licuado 2.Gas natural 3.Electricidad 4.Otro _____

5.3) ¿Cuál es el consumo y gasto mensual por el energético que utiliza para calentar agua para la ducha

Temporada	Consumo / mes	Gasto / mes	observación
Verano			
Otoño			
Invierno			
Primavera			

5.4) ¿Se encuentra conforme con la forma que calienta el agua de la ducha ?

- 1.Siempre 2.Casi siempre 3.Nunca 4.No sabe

VI. SITUACIÓN SOCIAL Y ECONÓMICA DEL HOGAR

6.1) ¿Cuántas personas viven en su hogar? 6.2) ¿Cuántas habitaciones tiene el hogar?
(incluyendo dormitorio, cocina, comedor, etc)

6.3) ¿Cuántos metros cuadrados construidos tiene su hogar?

6.4) ¿Cuál es el nivel de educación del jefe de hogar?

- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Sin educación formal | <input type="checkbox"/> 5. Media Tec. incompleta | <input type="checkbox"/> 9. Tec. o Univ. Incompleta |
| <input type="checkbox"/> 2. Básica incompleta | <input type="checkbox"/> 6. M. Hum. completa | <input type="checkbox"/> 10. Tec. o Univ. Completa |
| <input type="checkbox"/> 3. Básica completa | <input type="checkbox"/> 7. M. Tec. completa | <input type="checkbox"/> 11. No sabe |
| <input type="checkbox"/> 4. M. Hum. incompleta | <input type="checkbox"/> 8. Media incompleta | <input type="checkbox"/> 12. No responde |

6.5) ¿En que trabaja el jefe de hogar?

- | | | |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Trabajos menores y ocasionales | <input type="checkbox"/> 4. Empleado administrativo | <input type="checkbox"/> 7. Inactivo, jubilado o pensionado |
| <input type="checkbox"/> 2. Trabaja como obrero no calificado | <input type="checkbox"/> 5. Profesional y/o ejecutivo | <input type="checkbox"/> 8. No sabe |
| <input type="checkbox"/> 3. Trabaja como obrero calificado | <input type="checkbox"/> 6. Alto ejecutivo, gerente, dueño o director de empresa | <input type="checkbox"/> 9. No responde |

6.6) ¿Bajo que situación usted ocupa la vivienda?

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> 1. Propia y pagada | <input type="checkbox"/> 5. Arrenda con contrato | <input type="checkbox"/> 9. Usufructo |
| <input type="checkbox"/> 2. Propia y pagándose | <input type="checkbox"/> 6. Arrenda sin contrato | <input type="checkbox"/> 10. Ocupación irregular |
| <input type="checkbox"/> 3. Propiedad compartida pagada | <input type="checkbox"/> 7. Cedida por servicio | <input type="checkbox"/> 11. No sabe |
| <input type="checkbox"/> 4. Propiedad compartida pagán- | <input type="checkbox"/> 8. Cedida por familiar o amigo | <input type="checkbox"/> 12. No responde |

6.7) Sumando el ingreso que perciben todas las personas en el hogar, ¿Cual el ingreso promedio mensual, Incluyendo pensiones, subsidios monetarios, montepío, otros? **Mostrar tarjeta C**

VII. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

7.1) Tipo de vivienda

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> 1. Casa o case en cité | <input type="checkbox"/> 4. Pieza en casa/ depto | <input type="checkbox"/> 7. Rancho, ruca o choza |
| <input type="checkbox"/> 2. Casa en condominio | <input type="checkbox"/> 5. Mediagua | <input type="checkbox"/> 8. Otro (móvil, carpa, etc) |
| <input type="checkbox"/> 3. Departamento/ edifi- | <input type="checkbox"/> 6. Mejora | <input type="checkbox"/> 9. No sabe |

7.2) Material predominante en los muros exteriores de la vivienda

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> 1. De acero u hormigón armado | <input type="checkbox"/> 6. Barro, quincha, pirca u otro material artesanal |
| <input type="checkbox"/> 2. Albañilería de ladrillo, bloque de cemento o piedra | <input type="checkbox"/> 7. Material de desecho o reciclaje (cartón, lata, etc) |
| <input type="checkbox"/> 3. Tabique forrado por ambas caras | <input type="checkbox"/> 8. Otro, especificar <input type="text"/> |
| <input type="checkbox"/> 4. Adobe | <input type="checkbox"/> 9. No sabe |
| <input type="checkbox"/> 5. Tabique sin forro interior | |

7.3) Estado de conservación de los muros

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. Bueno | <input type="checkbox"/> 3. Malo |
| <input type="checkbox"/> 2. Aceptable | <input type="checkbox"/> 4. No sabe |

7.4) Material predominante del piso de la vivienda

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Radier revestido (parquet, cerámica, tabla) | <input type="checkbox"/> 4. Madera, plástico o pastelones sobre la tierra |
| <input type="checkbox"/> 2. Radier no revestido | <input type="checkbox"/> 5. Piso de tierra |
| <input type="checkbox"/> 3. Tabla o parquet sobre vigas | <input type="checkbox"/> 6. No responde |

7.5) Estado de conservación del piso

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. Bueno | <input type="checkbox"/> 3. Malo |
| <input type="checkbox"/> 2. Aceptable | <input type="checkbox"/> 4. No sabe |

7.6) Material predominante del techo de la vivienda

- | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 1. Teja, tejuela, losa de hormigón con cielo interior | <input type="checkbox"/> | 5. Paja, totora o caña |
| <input type="checkbox"/> | 2. Zinc o pizarreño con cielo interior | <input type="checkbox"/> | 6. Desecho (plásticos, latas, cartones) |
| <input type="checkbox"/> | 3. Zinc, pizarreño, teja, tejuela o madera sin cielo interior | <input type="checkbox"/> | 7. No sabe |
| <input type="checkbox"/> | 4. Fonolita | | |

7.7) Estado de conservación del techo

- | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | 1. Bueno | <input type="checkbox"/> | 3. Malo |
| <input type="checkbox"/> | 2. Aceptable | <input type="checkbox"/> | 4. No sabe |

VIII. PREGUNTAS SITUACIONALES (APLICA SOLO SI CONSUME LEÑA O RASTROJOS)

(Tarjeta B) Tipos de artefactos de combustión a leña



Cocina de hierro



Chimenea



Combustión lenta doble cámara



Combustión lenta cámara simple
(Aspecto similar a la de doble cámara)



Salamandra



Estufa de lata

31

Tarjeta C) Tarjeta de Ingreso

A	0 - 150.000
B	150.000 - 200.000
C	200.001 - 250.000
D	250.001 - 300.000
E	300.001 - 350.000
F	350.001 - 400.000
G	400.001 - 450.000
H	450.001 - 500.000
I	550.001 - 600.000
J	600.001 - 650.000
K	650.001 - 700.000
L	700.001 - 750.000
LL	750.001 - 800.000
M	800.001 - 850.000
N	850.001 - 900.000
Ñ	900.001 - 950.000
O	950.001 - 1.000.000
P	1.000.001 - 1.050.000
Q	1.050.001 - 1.100.000
R	1.100.001 - 1.150.000
S	1.150.001 - 1.200.000
T	1.200.001 - 1.250.000
U	1.250.001 - 1.300.000
V	1.300.001 - 1.350.000
W	1.350.001 - 1.400.000
X	1.400.001 - 1.450.000
Y	1.450.001 - 1.500.000
Z	1.550.001 - 1.00.000
A1	1.600.001 - 1.650.000
A2	1.650.001 - 1.700.000
A3	1.700.001 - 1.750.000
A4	1.750.001 - 1.800.000
A5	1.800.001 - 1.850.000
A6	1.850.001 - 1.900.000
A7	1.900.001 - 1.950.000
A8	1.950.001 - 2.000.000
A9	2.000.001 - 2.500.000
A10	2.500.001 - 3.000.000
A11	3.000.000 - 4.000.000
A12	4.000.000 o más

32

8.4 Anexo 4: Potencial de Reducción de Emisiones de Material Particulado por Recambio de Estufas a Leña

La estimación del potencial de reducción de emisiones de contaminantes de aire debido a la sustitución de los actuales equipos de calefacción residencial en base a leña por calefactores a leña que cumplen con el D.S. No 39/2011 se realiza considerando los datos de consumo promedio de leña para calefacción, la tecnología de los equipos de combustión a leña, según la información disponible. El potencial de reducción de emisiones de material particulado es ajustado considerando dos escenarios de contenido de humedad de la leña, dado que tiene un efecto significativo en las emisiones de contaminantes y el calor útil generado durante la combustión en calefactores convencionales. Para estimar el potencial de reducción de emisiones del recambio se consideraron los consumos de leña, según los datos de la encuesta CASEN y ajustados con los valores de consumo de leña y factores de emisión propuestos en los estudios desarrollados para el Anteproyecto del Plan de Desccontaminación de Concepción Metropolitano. En el análisis también se consideró la eficiencia térmica de los equipos de calefacción a leña como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta E_{RECAMBIO} = \sum_i H_i^n \cdot C_i \left(fe^a - \frac{\eta^a}{\eta^n} \cdot fe^n \right)$$

Donde:

$\Delta E_{RECAMBIO}$ = Cambio en las tasas de emisión de MP en el hogar i

H_i^n = equipos n en el hogar i que se recambia

C_i = consumo de leña por hogar i

fe^n = factor de emisión de MP del equipo que cumple normativa

η^n = Eficiencia térmica equipo que cumple la norma D.S. No 39/ 2011

fe^a = factor de emisión de MP del equipo actual en el hogar i

η^a = Eficiencia térmica equipo actual en el hogar i

Para el caso de los factores de emisión para los nuevos equipos a leña que cumplen con la norma de emisión se consideró los siguientes factores de emisión

Tabla A8. Factores de emisión para los nuevos calefactores a leña

Cumple con DS No 39/2011	FE g/kg leña				
	MP ₁₀	MP _{2.5}	CO	NO _x	COV
Leña seca	2,5	2,3	90,0	1,9	23,9
Leña semi-húmeda	6,8	6,3	164,3	2,0	54,0
Leña húmeda	11,0	10,2	238,5	2,0	84,1
Mala utilización	21,0	20,3	238,5	5,3	241,2

Fuente: SICAM 2015

La eficiencia de los calefactores residenciales varía según la tecnología y el tipo de energético. El rango de eficiencia varía entre un 15% si se utiliza una chimenea con hogar abierto, hasta un valor cercano al 70% si se utiliza un calefactor de combustión lenta y doble cámara. La eficiencia térmica de los nuevos calefactores a leña puede alcanzar un 75%.

Tabla A9. Eficiencia Térmica de los Equipos de Combustión a Leña

Tipo de equipo	Eficiencia térmica, η (%)
Cocina de Fierro	50%
Chimenea	15%
Combustión lenta C/T	71%
Combustión lenta S/T	62%
Salamandra	40%
Estufa de Lata	40%

Fuente: ¹ CDT. 2010¹²; CNE 1985¹³

De acuerdo al Estudio de Consumo Nacional de Leña y otros derivados sólidos de la madera, encargado por el Ministerio de Energía el año 2015 y ejecutado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT 2015), el 50,6% de los artefactos a leña, en la zona centro-sur del país, corresponde a calefactores de doble cámara¹⁴, el segundo con fin de calefacción, corresponde a las cocinas a leña (19,4%), lo sigue las salamandras, junto con los equipos de cámara simple¹⁵ con 12,1% y 10,2%, respectivamente. La región del Biobío, tiene una mayor proporción de calefactores de combustión lenta C/T alcanzando niveles superiores al 51,2%, le siguen en proporción las salamandras (16,6%), cocinas a leña (14,7%) y calefactores de combustión lenta S/T (8,2%). Para el caso del Concepción Metropolitano la proporción de equipos a leña se indica en la siguiente tabla:

Tabla A10. Proporción de equipos de combustión a leña en Concepción Metropolitano

Tipo de equipo	Proporción promedio, %
Combustión lenta C/T	64,6
Combustión lenta S/T	6,1
Cocina de Fierro	17,8
Salamandra	7,0
Chimenea y otros	4,5

Fuente: SICAM 2015

El promedio de consumo de leña en las comunas de Concepción Metropolitano es de 1.176 kg/año-hogar y 1.008 kg/año-hogar, según los datos de la encuesta CASEN y el Estudio SICAM (SICAM), respectivamente. Las comunas que registran un mayor consumo promedio de leña son Lota, Concepción y Tomé mientras que las comunas de Penco, San Pedro de la Paz y Hualpén registran los menores consumos promedio de leña por vivienda, según la encuesta CASEN. El detalle de los consumos promedios de leña para cada comuna se muestra en la Tabla siguiente

¹²CDT. 2010. Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial preparado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. Año 2010.

¹³Fuente: CNE 1985. CNE Comisión Nacional de Energía, 1985. Eficiencia de Artefactos Domésticos para Cocinar, Calentar Agua y Calefactacion.

¹⁴Calefactor a leña de combustión lenta y templador (C/T)

¹⁵Calefactor a leña de combustión lenta y sin templador (S/T)

Tabla A11. Consumo promedio de leña en Las Comunas de Concepción Metropolitano

Comuna	CASEN 2013	SICAM 2015
	Kg/año-vivienda	Kg/año-vivienda
Concepción	1.528	1.468
Coronel	1.197	966
Chiguayante	1.014	1.359
Hualqui	1.193	410
Lota	1.847	516
Penco	843	1.333
San Pedro de la Paz	850	1.214
Talcahuano	1.050	631
Tomé	1.308	949
Hualpén	927	1.237
Promedio	1.176	1.008

8.4.1 Supuestos para la estimación de costos de inversión y operación

Para la evaluación de los costos de inversión de una medida de recambio de equipos a leña por calefactores que cumplen con el D.S. No 39/2011 de costos de adquisición e instalación de los nuevos calefactores a leña. A continuación se presentan los supuestos realizados en el cálculo de los costos de inversión y operación asociados a cada una de las medidas evaluadas.

- **Potencia Bruta: 7 kW**
- **Eficiencia térmica del calefactor: 75%**
- **Inversión: \$ 350.000 incluye Equipo + kit de instalación + instalación**

8.4.2 Potencial de reducción de emisiones

A continuación se detalla el potencial de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5 para una alternativa de compensación de emisiones de material particulado en el sector residencial mediante el recambio de equipos a leña por calefactores que cumplen con el D.S No 39/ 2011. Para el análisis se considera el potencial de reducción en función de las características de consumo de leña, tecnología actual de calefactores a leña y contenido de humedad.

Tabla A12. Potencial unitario de reducción de MP10 (kg/año-equipos) en Concepción Metropolitano para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Tipo de Artefacto	Potencial unitario de reducción de MP10 (kg/ año-equipos)		
	Seca	Semi-húmeda	Húmeda
Salamandra	12,2	19,1	26,0
Combustión doble cámara	4,1	2,9	1,8
Cocina de fierro	8,5	8,9	9,3
Combustión cámara simple	7,7	7,0	6,2
Estufa de lata	12,2	19,1	26,0

Tabla A13. Potencial unitario de reducción de MP2,5 (kg/año-equipos) en Concepción Metropolitana para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Tipo de Artefacto	Potencial unitario de reducción de MP2,5 (kg/ año-equipos)		
	Seca	Semi-húmeda	Húmeda
Salamandra	11,3	17,8	24,3
Combustión doble cámara	3,9	2,7	1,5
Cocina de hierro	7,9	8,3	8,7
Combustión cámara simple	7,2	6,5	5,8
Estufa de lata	11,3	17,8	24,3

Se puede observar que el potencial de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5 de esta medida es mayor para el recambio de calefactores en hogares que poseen equipos a leña menos eficientes y más contaminantes, entre ellos salamandras, cocinas de hierro, estufas de lata. En el potencial de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5 es de 12,2 y 11,3 kg/año-equipos cuando se recambia una salamandra por un equipo que cumpla la norma establecida en el D.S. No 39/2011 en un hogar que utiliza leña. El potencial de reducción aumenta cuando el contenido de humedad de la leña utilizado en el equipo es mayor.

Dado que en promedio el 64,6% de los calefactores existentes en Concepción Metropolitana corresponden a equipos de combustión lenta con cámara simple y templador, seguido por las salamandras (7%) y combustión lenta sin templador (6,1%), se considera un potencial ponderado de reducción de material particulado. Para el análisis no se consideró el recambio de cocinas a leña dado que también cumplen con la función de cocción de alimentos en el hogar.

Tabla A14. Potencial unitario ponderado de reducción de MP10 y MP2,5 (kg/año-equipos) en Concepción Metropolitana para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Contaminante	Potencial unitario de reducción de MP (kg/ año-equipos)		
	Seca	Semi-húmeda	Húmeda
Reducción de MP10	5,1	4,7	4,3
Reducción de MP2,5	4,8	4,4	3,9

Por otro lado se pondera el contenido de humedad de la leña considerando dos escenarios de contenido de humedad de la leña, consistente en:

- Escenario 1: 70% seca; 30 % semi-húmeda; 1% húmeda
- Escenario 2: 50% seca; 30% semi-húmeda; 20% húmeda

El promedio ponderado de potencial de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5, según escenario de contenido de humedad de la leña se presenta en la siguiente tabla:

Tabla A15. Potencial unitario ponderado de reducción de MP10 y MP2,5 (kg/año-equipo) en Concepción Metropolitana, según contenido de humedad de la leña para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Contaminante	Potencial unitario de reducción de MP (kg/ año-equipo)		
	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Reducción de MP10	5,0	4,8	4,9
Reducción de MP2,5	4,6	4,5	4,6

8.4.3 Evaluación económica de una medida de compensación basada en el recambio de calefactores a leña

A continuación se presentan los resultados de la evaluación económica correspondiente al reemplazo de actuales artefactos de combustión a leña en el sector residencial de Concepción Metropolitana por calefactores a leña que cumplen con el D.S. No 39/ 2011. Para el análisis se consideró la reducción de 4,57 ton/año de MP2,5 para el escenario 1 (mayor contenido de humedad de la leña), o bien, 4,35 ton/año de MP2,5 para el escenario 2, donde la leña se encuentra más seca.

Tabla A16. Costo promedio de reducción de MP2,5 en Concepción Metropolitana, según contenido de humedad de la leña para la medida de recambio de calefactor a leña por uno que cumpla con el D.S. No 39/2011

Plan	Escenario		
	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Número de recambios	990	969	980
Costo de reducción de MP2,5 (MM CLP\$)	346,56	339,31	342,94

Se puede observar que el costo promedio de un plan de recambios de equipos a leña en el sector residencial basado en el reemplazo de un calefactor a leña por uno que cumple el D.S. No 39/2011 sería en el orden de los 342,94 millones de pesos, lo que implicaría un recambio de 980 equipos para cumplir con la meta de reducción de emisiones. Cabe señalar, que el número de recambios podría ser menor y por ello el costo del Plan, si sólo se cambian los equipos más contaminantes, (salamandras y estufas de lata). Sin embargo, dada la poca participación de estos equipos en el parque de calefactores de Concepción Metropolitana, se dificultaría y restringiría el proceso de selección de los hogares por lo que podría comprometer la viabilidad de ejecutar un Plan de recambio en el corto plazo.



www.udt.cl

