



consultoría energética . proyectos . software . I+D+i

19P008. Diseño y Evaluación del Sistema de Calefacción Distrital para Conjunto Habitacional Nuevo en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas

Informe Final

Versión 2.0



Santiago, a 13 de diciembre de 2019





Contenido

1. ANTECEDENTES	35
1.1. OBJETIVO GENERAL	35
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
1.3. ALCANCES	36
2. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN	38
2.1. MARCO DEL ESTUDIO	38
2.2. DEFINICIÓN VIVIENDA TIPO Y DEMANDA	39
2.3. EXISTENCIA DE CONSUMIDORES ANCLA	40
2.4. ANÁLISIS CONDICIONES DE CONTORNO	41
2.4.1. PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	41
2.4.2. EXISTENCIA DE FUENTES DE CALOR RESIDUAL	42
2.4.3. UBICACIÓN CENTRAL TÉRMICA	43
3. PROYECTOS HABITACIONALES	43
3.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	44
3.1.1. BICENTENARIO I Y II	44
3.1.2. MEGAPROYECTO LABRANZA	50
3.1.3. NUEVA COSTANERA	57
3.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ARQUITECTÓNICAS	61
3.3. ANÁLISIS PROYECTOS	62
3.3.1. CÁLCULO DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN	62
3.3.2. CÁLCULO DE DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)	69
3.3.3. CÁLCULO DE EMISIONES	71
3.4. RESUMEN ANÁLISIS	76
3.4.1. BICENTENARIO I Y II	76
3.4.2. MEGAPROYECTO LABRANZA	78
3.4.3. NUEVA COSTANERA	80
4. PROPUESTA SELECCIÓN DE PROYECTO	81



4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	81
4.2. CARACTERIZACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA	83
4.3. EMISIONES	87
4.4. ENTORNO	91
4.5. CALOR RESIDUAL	92
<u>5. SELECCIÓN TECNOLOGÍA GENERACIÓN DE CALOR</u>	<u>94</u>
5.1. PLANTEAMIENTO	94
5.1. HIPÓTESIS	95
5.2. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA CON GLP	96
5.3. GEOTERMIA CON GLP	100
5.4. BIOMASA CON GLP	104
5.5. COMPARATIVA	108
<u>6. EMPLAZAMIENTO CENTRAL TÉRMICA Y DISEÑO RED</u>	<u>112</u>
6.1. EMPLAZAMIENTO CENTRAL TÉRMICA	112
6.2. DISEÑO DE RED	113
6.3. PLAZOS DE EJECUCIÓN DE LA OBRA	119
<u>7. DISEÑO DE PLANTA DE CALEFACCIÓN</u>	<u>121</u>
7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	121
7.2. DISPOSICIÓN DE EQUIPOS EN CENTRAL TÉRMICA	124
<u>8. MODELO DE NEGOCIOS</u>	<u>127</u>
8.1. PERFILES REQUERIDOS	128
8.2. ACTORES IDENTIFICADOS	129
8.3. IDENTIFICACIÓN DE ROLES POTENCIALES POR ACTORES	129
8.4. MODELOS DE NEGOCIO	133
MODELO 1	133
MODELO 2	134
MODELO 3	136



9. ESTIMACIÓN DE COSTOS	138
COTIZACIÓN CALDERAS	140
COTIZACIÓN EQUIPOS DE CONEXIÓN A VIVIENDAS	141
10. EVALUACIÓN COMPARATIVA SISTEMAS	142
10.1. CONDICIONES DE DISEÑO	142
10.2. DIMENSIONAMIENTO DE CASO BASE	144
CASAS	144
DEPARTAMENTOS	147
10.3. PROPUESTA SISTEMAS ALTERNATIVOS	149
10.3.1. CASO ALTERNATIVO 1: SISTEMA SOLAR TÉRMICO + ACUMULADOR + ESTUFA + CALEFONT SOLAR	149
CASAS	150
DEPARTAMENTOS	153
10.3.2. CASO ALTERNATIVO 2: SISTEMA FOTOVOLTAICO + ACUMULADORES ELÉCTRICOS Y SPLIT	156
CASAS	156
DEPARTAMENTOS	162
10.3.3. CASO ALTERNATIVO 3: SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL	166
10.4. PRESUPUESTOS	174
10.5. EVALUACIÓN SOCIAL	176
10.6. ANÁLISIS AUMENTO DE PRECIOS	184
11. ANÁLISIS DE PROYECCIÓN DE SERVICIO	186
11.1. POTENCIALES CLIENTES	186
11.2. PROYECCIÓN DE PRESTACIÓN DE SERVICIO	187
12. CONCLUSIONES	190



Índice de Tablas

Tabla 1. Inversiones por alternativa.....	22
Tabla 2. Parámetros financieros por alternativa.....	22
Tabla 3. Valores máximos de transmitancia térmica permitidos en el PDA para Temuco y Padre Las Casas.....	40
Tabla 4. Proyectos habitacionales por evaluar	43
Tabla 5. Comparación entre niveles máximos permitidos de transmitancia térmica según distintos estándares	61
Tabla 6. Niveles de transmitancia térmica utilizados en los modelos.....	62
Tabla 7. Demanda total de calefacción por proyecto	68
Tabla 8. Supuestos realizados para el cálculo de demanda de ACS	70
Tabla 9. Consideraciones cálculo emisiones	71
Tabla 10. Equipos y Combustibles asociados a cada tipo de vivienda	72
Tabla 11. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Bicentenario	74
Tabla 12. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Labranza	74
Tabla 13. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Costanera	75
Tabla 14. Resultados totales emisiones por proyecto	75
Tabla 15. Características Generales proyecto Labranza.	81
Tabla 16. Características Generales edificios ancla proyecto Labranza.	91
Tabla 17. Hipótesis Técnicas y Económicas	95
Tabla 18. Hipótesis Financieras.....	96
Tabla 19. Parámetros técnicos Energía Solar con GLP	98
Tabla 20. Balance energético Energía Solar con GLP	99
Tabla 21. Inversiones Energía Solar con GLP	99
Tabla 22. Parámetros financieros Energía Solar con GLP	100
Tabla 23. Parámetros técnicos Geotermia con GLP.....	102
Tabla 24. Balance energético Geotermia con GLP.....	103
Tabla 25. Inversiones Geotermia con GLP	103
Tabla 26. Parámetros financieros Geotermia con GLP	104
Tabla 27. Parámetros técnicos Biomasa con GLP	106
Tabla 28. Balance energético Biomasa con GLP	106
Tabla 29. Inversiones Biomasa con GLP.....	107
Tabla 30. Parámetros financieros Biomasa con GLP	107
Tabla 31: Comparación Diseño conceptual CT	108



Tabla 32. Parámetros técnicos por alternativa	108
Tabla 33. Balance energético por alternativa	109
Tabla 34. Inversiones por alternativa.....	110
Tabla 35. Parámetros financieros por alternativa.....	111
Tabla 36. Resumen características principales de tubos de la red de calefacción distrital.....	118
Tabla 37. Características Generales proyecto Labranza.	121
Tabla 38: Matriz de roles o perfiles generales por actor.	132
Tabla 39: Matriz de roles y perfiles para Modelo 1 de Negocios.....	134
Tabla 40: Matriz de roles y perfiles para Modelo 2 de Negocios.....	135
Tabla 41: Matriz de roles y perfiles para Modelo 3 de Negocios.....	137
Tabla 42: Resumen de costos de sistema de calefacción distrital.	138
Tabla 43: Parámetros utilizados para cálculo de costos por obra civil de instalación de red de distribución.....	139
Tabla 44. Potencia de diseño por tipo de vivienda	144
Tabla 45. Descripción sistema caso base.....	144
Tabla 46. Características estufa a leña.....	145
Tabla 47. Características calefont GLP.....	146
Tabla 48. Características estufa a parafina	147
Tabla 49. Características calefont GLP.....	148
Tabla 50. Propuesta soluciones para Casas	149
Tabla 51. Propuesta soluciones para Departamentos	149
Tabla 52. Resultados de calefacción por vivienda. Caso alternativo 1.....	150
Tabla 53. Parámetros sistema de ACS. Caso alternativo 1.....	150
Tabla 54. Parámetros de diseño de Sistema Solar Térmico. Caso alternativo 1	151
Tabla 55. Resultados simulación SST. Caso alternativo 1.....	151
Tabla 56. Resultados de calefacción por departamento. Caso alternativo 1.....	153
Tabla 57. Parámetros sistema de ACS. Caso alternativo 1.....	154
Tabla 58. Parámetros de diseño de Sistema Solar Térmico. Caso alternativo 1	154
Tabla 59. Resultados simulación SST. Caso alternativo 1.....	154
Tabla 60. Capacidades Split	157
Tabla 61. Soluciones asociadas a calefacción	157
Tabla 62. Resultados vivienda.....	157
Tabla 63. Parámetros acumulador.....	158
Tabla 64. Resultados ACS.....	158
Tabla 65. Sistemas de consumo eléctrico considerados en vivienda.....	160
Tabla 66. Parámetros de diseño	161



Tabla 67. Generación fotovoltaica por tipología de casa.....	161
Tabla 68. Parámetros vivienda.....	162
Tabla 69. Resultados por departamento	162
Tabla 70. Parámetros acumulador.....	163
Tabla 71. Resultados ACS.....	163
Tabla 72. Sistemas de consumo eléctrico considerados en departamento.....	165
Tabla 73. Parámetros de diseño por edificio	166
Tabla 74. Características Generales proyecto Labranza.	167
Tabla 75. Resumen características principales de tubos de la red de calefacción distrital.....	172
Tabla 76: Presupuesto Solución Solar Térmica	174
Tabla 77: Presupuesto Solución Fotovoltaica + Split	175
Tabla 78. Costo sistema distrital.....	175
Tabla 79: Facturación por consumos de energía según tipo de vivienda	176
Tabla 80: Tarifa Caso Base	177
Tabla 81: Valorización beneficios sociales	182
Tabla 82: Resumen Tarifa Energética Efectiva de cada tecnología	184
Tabla 83. Costo sistema distrital.....	185
Tabla 84. Distribución de Costos y aumento del precio final de venta de las viviendas	185
Tabla 85. Características generales edificios cercanos al Megaproyecto Labranza	186
Tabla 86. Características Generales proyecto Labranza.	187
Tabla 87. Costo sistema distrital adicional.....	189
Tabla 88: Resumen resultados económicos de comparación tecnológica de generación para el sistema distrital.	191
Tabla 89: Resumen de costos del sistema de energía Distrital	192
Tabla 90: Tarifas Energética Efectivas de cada tecnología.....	192



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de las comunas de Padre Las Casas y Temuco en la conurbación de Gran Temuco.....	38
Ilustración 2. Archivo climático ciudad de Temuco en DesignBuilder.	39
Ilustración 3. Tasa de infiltración máxima a través de ventanas y puertas permitida en el PDA para Temuco y Padre Las Casas	40
Ilustración 4. Límites máximos permitidos de emisión de material particulado para calderas nuevas y existentes. [2]	42
Ilustración 5. Ubicación del Proyecto Bicentenario	44
Ilustración 6. Zoom Plano Loteo proyecto Bicentenario, con la ubicación relativa de proyecto.	45
Ilustración 7. Ubicación edificios singulares relativos al proyecto en estudio	46
Ilustración 8. Colegio Santa Cruz, ubicado a unos 300 metros del proyecto en estudio.	46
Ilustración 9. Sede Temuco de instituto INACAP, ubicado a unos 460 metros del proyecto en estudio.	47
Ilustración 10. Jardín Infantil próximo a construir, ubicado a unos 290 metros del proyecto Bicentenario.	47
Ilustración 11. Conjunto de edificios residenciales, ubicado a unos 460 metros del proyecto Bicentenario.	48
Ilustración 12. Ubicación de proyecto Bicentenario en relación a la existencia de terrenos libres y accesibilidad	49
Ilustración 13. Ubicación de áreas verdes y área de equipamiento en proyecto Bicentenario	49
Ilustración 14. Ubicación de proyecto Labranza	50
Ilustración 15. Extracto plano loteo Megaproyecto Labranza	51
Ilustración 16. Ubicación edificios ancla en las cercanías del Megaproyecto Labranza	52
Ilustración 17. Centro Comunitario, ubicado a unos 390 metros del proyecto.	52
Ilustración 18. Centro de Salud Familiar (CESFAM) de Labranza, ubicado a unos 630 metros del proyecto.	53
Ilustración 19. Gimnasio de Labranza, a unos 740 metros del proyecto.	53
Ilustración 20. Escuela General de Labranza, a unos 800 metros del proyecto.....	54
Ilustración 21. Ubicación de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en relación a la ubicación del proyecto.	55
Ilustración 22. Ubicación del proyecto respecto al acceso a vías importantes.....	55
Ilustración 23. Ubicación de áreas verdes y de equipamiento en el Megaproyecto Labranza.	56
Ilustración 24. Ubicación proyecto Nueva Costanera	57



Ilustración 25. Plano loteo proyecto Nueva Costanera.....	58
Ilustración 26. Ubicación edificios ancla en las cercanías del proyecto Nueva Costanera.....	58
Ilustración 27. Mall Outlet Vivo Temuco, ubicado a unos 170 metros del proyecto Nueva Costanera	59
Ilustración 28. Condominio Santa Beatriz, ubicado a unos 100 metros del proyecto Nueva Costanera	59
Ilustración 29. Ubicación del proyecto respecto al acceso a vías importantes.....	60
Ilustración 30. Ubicación de áreas verdes y de equipamiento en el proyecto Nueva Costanera	60
Ilustración 31. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Bicentenario	63
Ilustración 32. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Bicentenario	63
Ilustración 33. Modelo tipo de vivienda de dos pisos para proyecto Bicentenario	64
Ilustración 34. Demanda de calefacción específica para viviendas proyecto Bicentenario	64
Ilustración 35. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Labranza.....	65
Ilustración 36. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Labranza	65
Ilustración 37. Modelo tipo de vivienda de dos pisos para proyecto Labranza	66
Ilustración 38. Demanda de calefacción específica para viviendas proyecto Labranza	66
Ilustración 39. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Nueva Costanera	67
Ilustración 40. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Nueva Costanera	67
Ilustración 41. Demanda total de calefacción por proyecto	68
Ilustración 42. Perfil de ocupación de las viviendas, de Lunes a Viernes.....	69
Ilustración 43. Temperatura de agua de red para Temuco.....	69
Ilustración 44. Demanda Específica de ACS para Temuco.	70
Ilustración 45. Demanda Total de ACS por Proyecto	71
Ilustración 46. Factores de emisión para MP10.....	72
Ilustración 47. Factores de emisión para MP2,5.....	73
Ilustración 48. Factores de emisión para CO2. Fuente: Factores de Emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.....	73
Ilustración 49. Emisiones por Proyecto	75
Ilustración 50. Cantidad de Viviendas por Macrolote.....	82
Ilustración 51. Superficie construida por Macrolote	82
Ilustración 52. Modelo final de demanda de proyecto Labranza.	83
Ilustración 53. Demanda de Calefacción Viviendas Tipo Bloque	84
Ilustración 54. Demanda de Calefacción Departamentos.....	84
Ilustración 55. Demanda de Calefacción por Macrolotes.....	85
Ilustración 56. Densidad de Demanda para proyecto Labranza	86



Ilustración 57. Emisiones por contaminante para cada macrolote.....	87
Ilustración 58. Emisiones MP2,5 para cada macrolote.....	88
Ilustración 59. Emisiones MP10 para cada macrolote.....	89
Ilustración 60. Emisiones CO2 para cada macrolote.....	90
Ilustración 61. Ubicación edificios ancla en las cercanías del Megaproyecto Labranza	91
Ilustración 62. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas San Isidro en relación a la ubicación del proyecto.	92
Ilustración 63. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas Araucanía en relación a la ubicación del proyecto.	93
Ilustración 64. Curva monótona de demanda, incluyendo pérdidas de distribución	95
Ilustración 65. Ejemplo de sistema solar térmico para un sistema distrital en Europa	97
Ilustración 66. Imágenes ilustrativas de acumuladores estacionales tipo Pit Storage.....	97
Ilustración 67. Simulación horaria de sistema solar con GLP para el presente proyecto.	98
Ilustración 68. Imágenes ilustrativas de pozos geotérmicos.....	101
Ilustración 69. Simulación horaria sistema bomba de calor geotérmica y calderas a gas licuado. ...	101
Ilustración 70. Balance mensual de operación energética del sistema geotérmico y la caldera auxiliar.	102
Ilustración 71. Silo y caldera industrial de Biomasa	104
Ilustración 72. Simulación horaria del del sistema de biomasa con caldera a gas licuado auxiliar. .	105
Ilustración 73. Potencias por alternativa y tecnología.....	109
Ilustración 74. Balances energéticos por alternativa y tecnología.....	110
Ilustración 75. Parámetros financieros por alternativa.....	111
Ilustración 76. Ubicación del área de Equipamiento dentro del Megaproyecto de Labranza	113
Ilustración 77. Plano de loteo de conjunto habitacional de Labranza	114
Ilustración 78. Mapa de Potencia del conjunto habitacional Labranza	115
Ilustración 79. Diseño de red propuesto para sistema de calefacción distrital en el conjunto habitacional de Labranza.....	117
Ilustración 80. Característica generales tubería considerada	119
Ilustración 81: Carta Gantt proyecto de Ejecución DH	121
Ilustración 82. Perfil horario de demanda	122
Ilustración 83. Curva monótona de demanda	123
Ilustración 84. Simulación horaria de demanda y aportes.....	124
Ilustración 85. Disposición de los Equipos en la sala de calderas	125
Ilustración 86. Emplazamiento sala de calderas (bajo superficie)	126
Ilustración 87. Curva monótona de demanda casas.....	143
Ilustración 88. Curva monótona de demanda departamentos.....	143



Ilustración 89. Aporte y consumo de la estufa a leña en casas, en relación a la demanda de energía.	145
Ilustración 90. Capacidad en litros recomendada para un calefont a gas licuado.	146
Ilustración 91. Curva de eficiencia del calefont en función del porcentaje de utilización	147
Ilustración 92. Aporte y consumo de la estufa a parafina en departamentos, en relación a la demanda de energía.....	148
Ilustración 93. Curvas de ACS para día de invierno en casas. Caso alternativo 1.....	152
Ilustración 94. Temperatura de suministro de ACS. Caso alternativo 1.....	153
Ilustración 95. Curvas de ACS para día de invierno en departamentos. Caso alternativo 1	155
Ilustración 96. Temperatura de suministro de ACS. Caso alternativo 1.....	156
Ilustración 97. Curvas de ACS día de invierno para Casas, caso alternativo 2.....	159
Ilustración 98. Temperatura de suministro de ACS	160
Ilustración 99. Curvas de ACS día de invierno.....	164
Ilustración 100. Temperatura de suministro de ACS	165
Ilustración 101. Curva monótona de demanda	167
Ilustración 102. Simulación horaria de demanda y aportes.....	168
Ilustración 103. Ubicación del área de Equipamiento dentro del Megaproyecto de Labranza	169
Ilustración 104. Plano de loteo de conjunto habitacional de Labranza	170
Ilustración 105. Mapa de Potencia del conjunto habitacional Labranza	171
Ilustración 106. Diseño de red propuesto para sistema de calefacción distrital en el conjunto habitacional de Labranza.....	172
Ilustración 107. Características generales tubería considerada.....	173
Ilustración 108. Inversión Total por solución propuesta.....	177
Ilustración 109. Costo extra de una casa, por solución propuesta	178
Ilustración 110. Costo extra de un departamento, por solución propuesta.....	178
Ilustración 111. Consumo de Energía en relación con el caso base.....	179
Ilustración 112. Ahorro en costo energético anual del proyecto.....	179
Ilustración 113. LEC (Costo nivelado de energía) por solución proyecto.....	180
Ilustración 114. Emisiones de Material Particulado.....	180
Ilustración 115. Emisiones de CO2	181
Ilustración 116. Balance Social de Salud	182
Ilustración 117. Tasa interna de retorno a 30 años por solución propuesta	183
Ilustración 118. VAN social del proyecto	183
Ilustración 119. Período de retorno de la inversión	183
Ilustración 120. Potenciales Clientes en las cercanías del proyecto	186



Ilustración 121. Tuberías necesarias para conectar a los potenciales clientes en las cercanías del proyecto	188
Ilustración 122. Costo extra de una casa, por solución propuesta	193
Ilustración 123. Costo extra de un departamento, por solución propuesta	193



RESUMEN EJECUTIVO

En las comunas de Temuco y Padre las Casas la principal fuente de contaminación atmosférica corresponde al sector residencial, debido a la combustión de leña, tanto para calefacción, agua caliente sanitaria y cocina, razón por la cual el Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) se enfoca principalmente en disminuir las emisiones en este sector. En específico, el Artículo 38 del PDA establece: "En un plazo de 3 años desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, el Ministerio del Medio Ambiente, en coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, evaluarán el desarrollo de un diseño para un proyecto piloto de calefacción distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada, para lo cual procurarán obtener financiamiento sectorial o del Fondo Nacional de Desarrollo regional (FNDR).

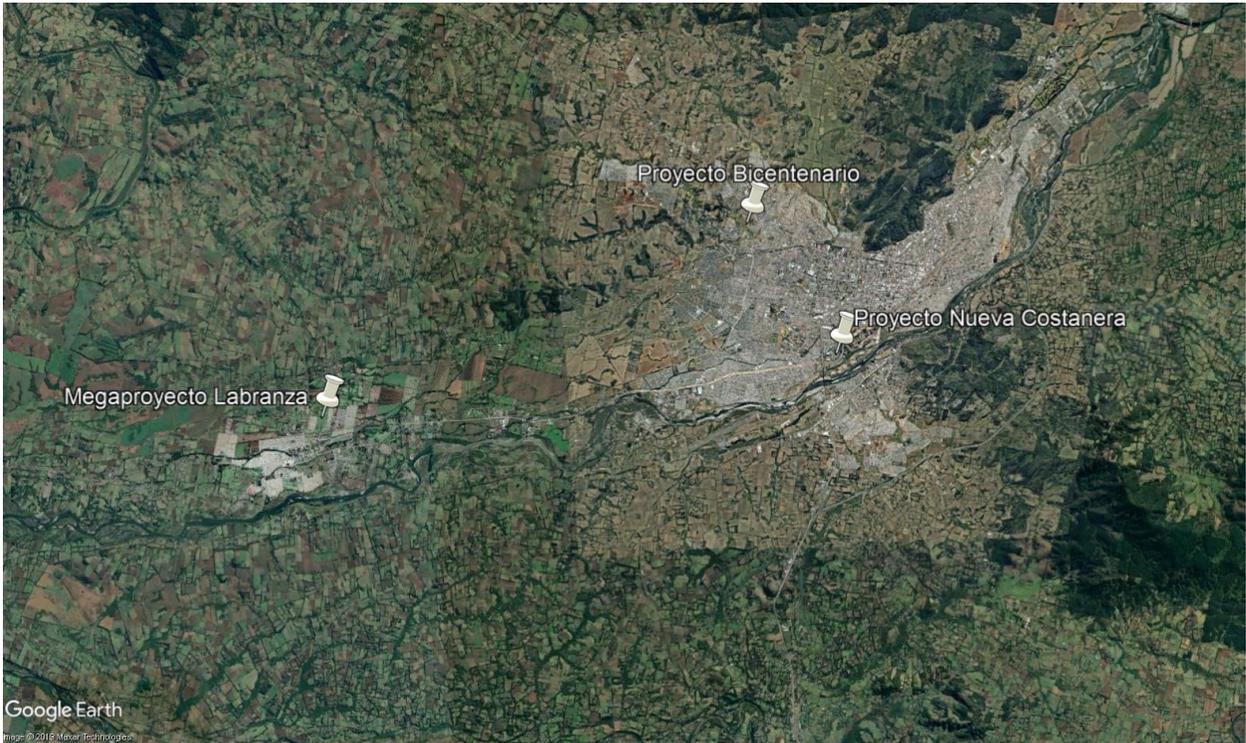
El objetivo de un proyecto de calefacción distrital es entregar calefacción y agua caliente sanitaria (opcional) a un conjunto de edificaciones, de manera eficiente, sustentable y con un bajo impacto en la calidad del aire. Este proyecto de calefacción distrital reemplazaría las soluciones de calefacción unitarias de cada edificación por un sistema centralizado de generación de calor y agua caliente sanitaria, que sería distribuida mediante redes de tuberías aisladas subterráneas a cada vivienda, para luego ser distribuida dentro de las edificaciones.

Dentro del contexto antes mencionado, se plantea el objetivo de diseñar un sistema de energía distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada de Temuco y Padre las Casas y evaluar su factibilidad al compararlo con otras alternativas de calefacción. Para lograr este objetivo se establece una serie de objetivos específicos, a los cuales se ha dado cumplimiento durante el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se debe establecer una metodología que permita elegir un conjunto habitacional que sirva de emplazamiento para un sistema de calefacción distrital. Se elige entre tres proyectos habitacionales validados con la contraparte, ubicados en distintas zonas de la comuna de Temuco:

- Megaproyecto Labranza: ubicado en Labranza, al noroeste de Temuco.
- Bicentenario I y II: ubicado en la zona norte de la comuna de Temuco.
- Nueva Costanera: Ubicado en el límite sur entre Temuco y la comuna de Padre las Casas.

En la ilustración a continuación se indica la ubicación de los tres conjuntos habitacionales propuestos.



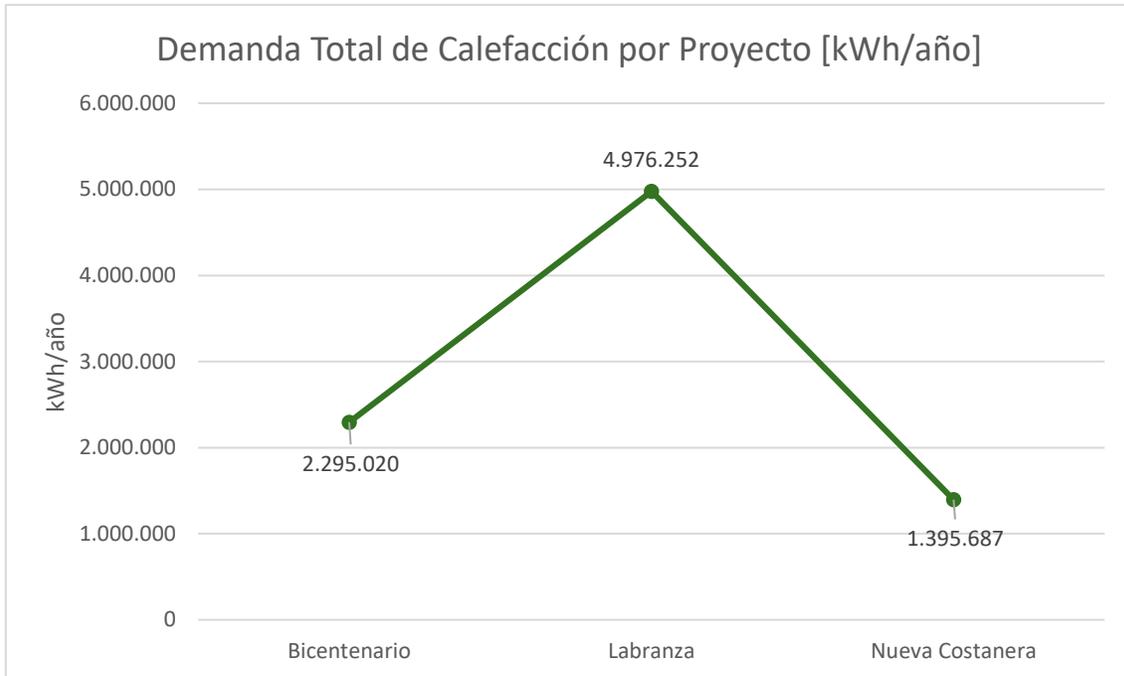
Ubicación de las comunas de Padre Las Casas y Temuco en la conurbación de Gran Temuco.

Los insumos necesarios para decidir por el conjunto habitacional idóneo tienen que ver con los siguientes aspectos:

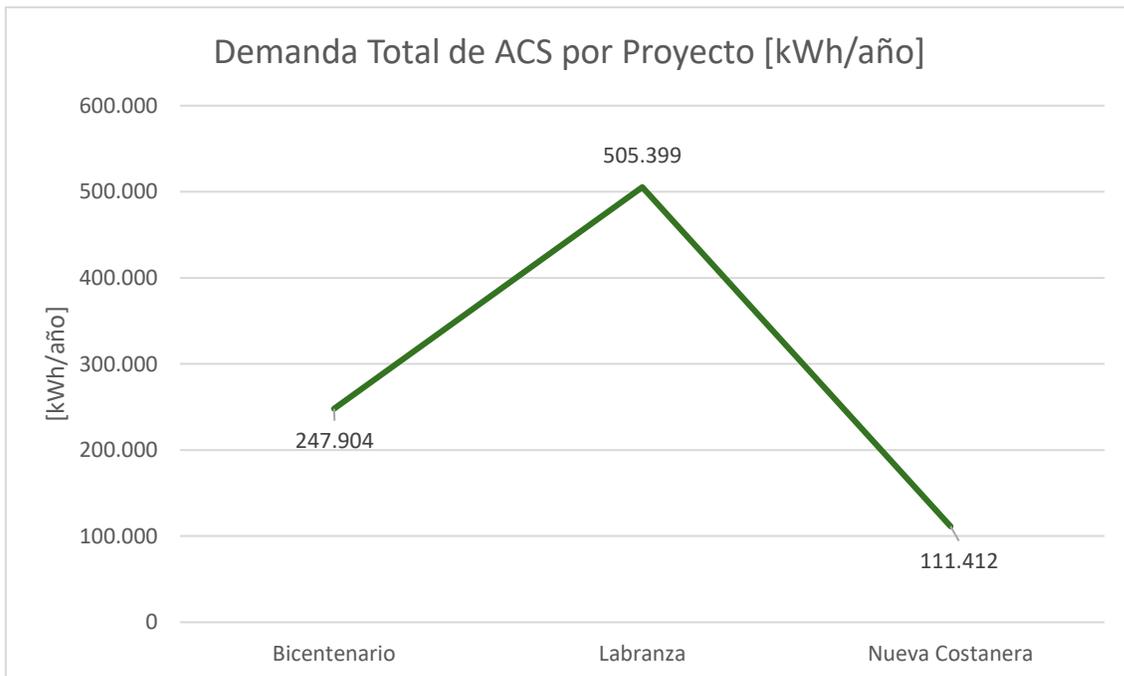
- Demanda total de energía del conjunto habitacional: en general, es deseable que el conjunto habitacional tenga una demanda de energía alta, en un área superficial pequeña, de modo de asegurar una alta demanda de servicio, con bajos costos por concepto de tubería.
- Cantidad total de emisiones: es ideal que el conjunto habitacional se proyecte con una alta cantidad de emisiones al ambiente, en particular, de material particulado y CO₂. Esto pues el sistema de calefacción distrital.
- Existencia de edificios ancla: los llamados edificios ancla consisten en potenciales clientes que consumen una gran cantidad de energía, como centros de salud, centros deportivos, etc. En general, se desea conectar clientes de este tipo al sistema de calefacción distrital pues, si bien emiten menos contaminantes que las viviendas, sí presentan un mayor consumo de energía, rentabilizando el proyecto.
- Existencia de fuentes de calor residual: permiten obtener energía para la generación de calor del sistema de calefacción distrital a un costo menor.
- Lugares de emplazamiento de la central térmica: se analizan las características del conjunto habitacional con el fin de concluir la viabilidad de construir una central térmica ya sea al interior



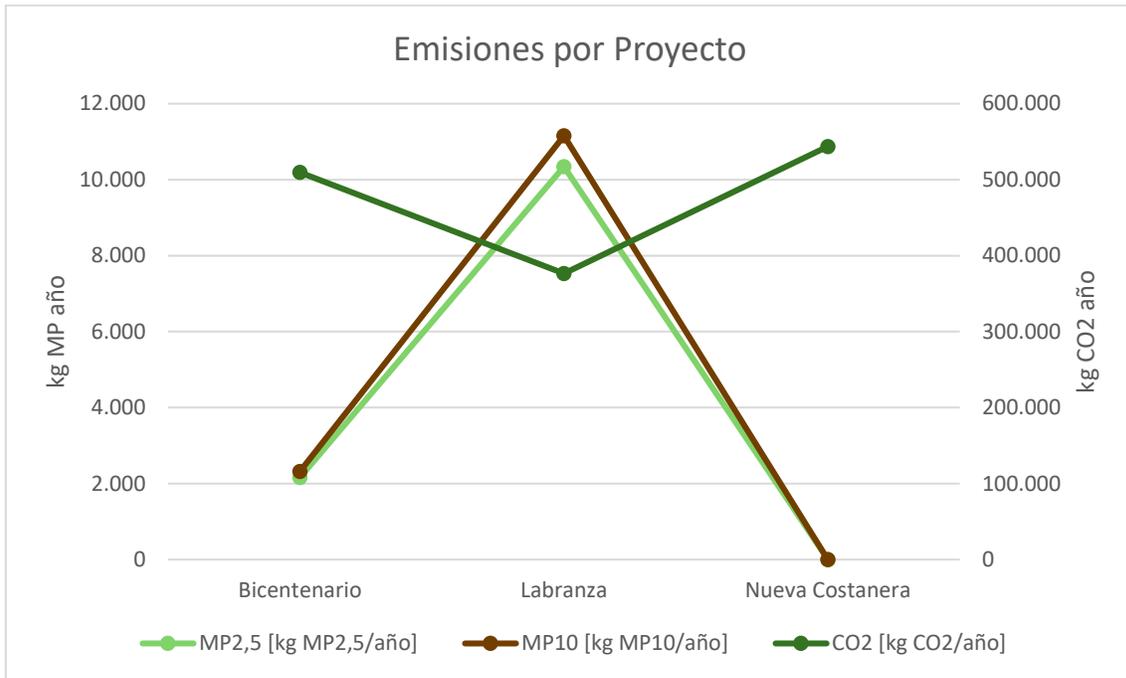
del conjunto o en sus alrededores, considerando la accesibilidad a la central como un argumento central. Los gráficos de las ilustraciones a continuación muestran los resultados de estas evaluaciones por proyecto



Demanda total de Calefacción por Proyecto [kWh/año]



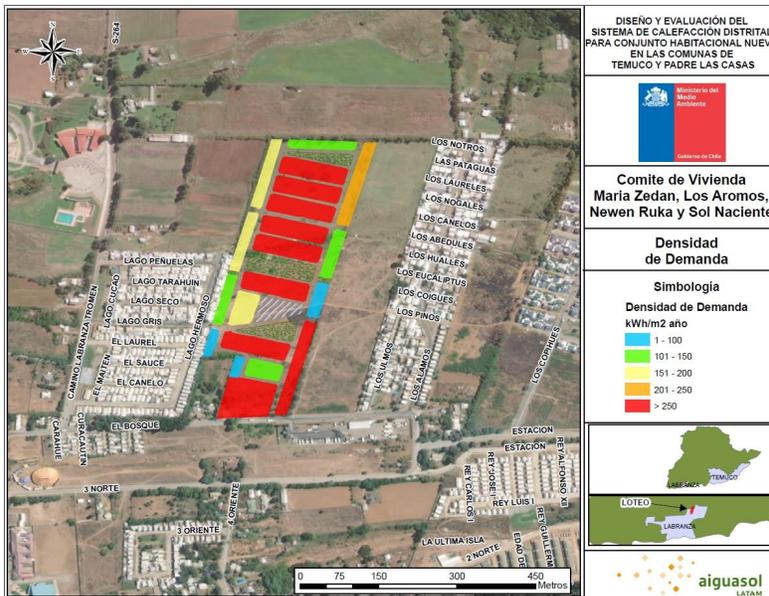
Demanda total de ACS por Proyecto [kWh/año]



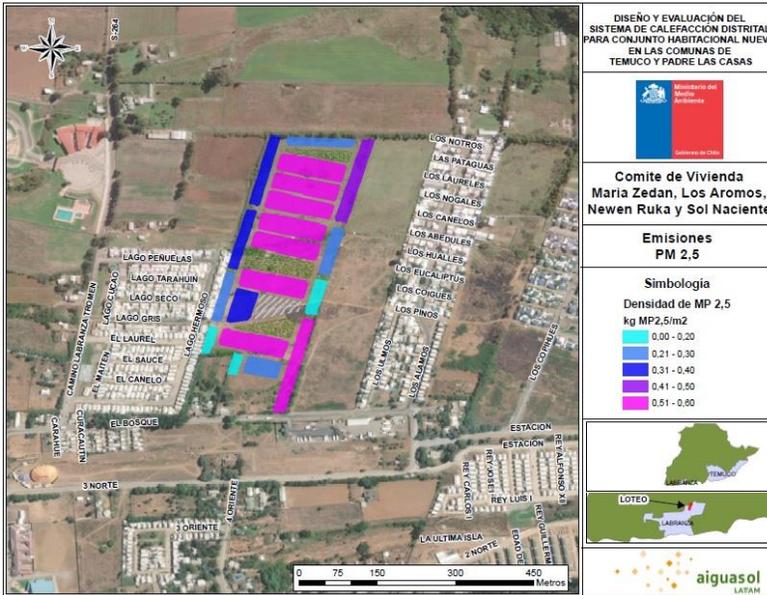
Cantidad total de emisiones por Proyecto [kWh/año]

De acuerdo a los resultados indicados en los gráficos, se concluye que el conjunto habitacional idóneo para el emplazamiento de un sistema de calefacción distrital es el Megaproyecto de Labranza.

Luego de la elección del proyecto, se procede a caracterizar la demanda del proyecto elegido, con el fin posterior de dimensionar tanto la central térmica como la red de distribución de calor. Para esto, se utiliza el mapa de calor, el que muestra la densidad de demanda del conjunto habitacional, por lote del proyecto.



Densidad de Demanda para proyecto Labranza



DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL PARA CONJUNTO HABITACIONAL NUEVO EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS



Comite de Vivienda Maria Zedan, Los Aromos, Newen Ruka y Sol Naciente

Emissiones PM 2,5

Simbologia

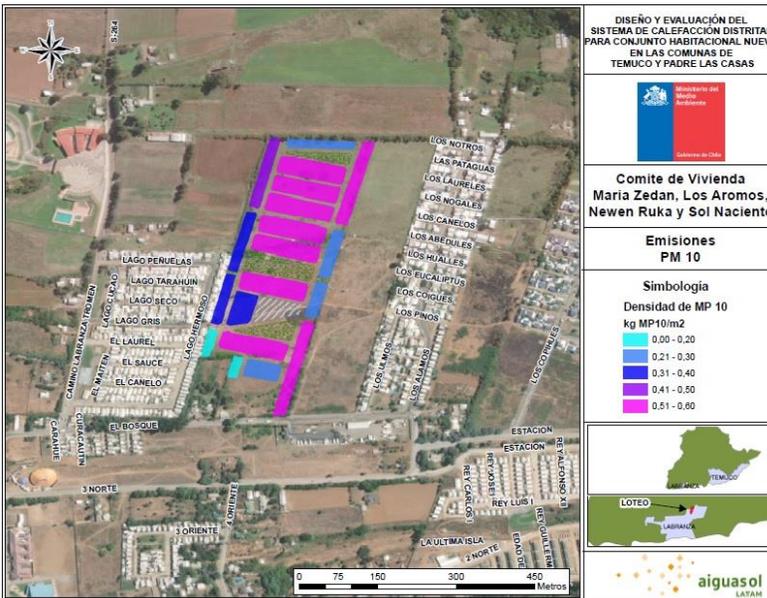
Densidad de MP 2,5

kg MP2,5/m2

- 0.00 - 0.20
- 0.21 - 0.30
- 0.31 - 0.40
- 0.41 - 0.50
- 0.51 - 0.80



Emissiones MP2,5 para cada macrolote.



DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL PARA CONJUNTO HABITACIONAL NUEVO EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS



Comite de Vivienda Maria Zedan, Los Aromos, Newen Ruka y Sol Naciente

Emissiones PM 10

Simbologia

Densidad de MP 10

kg MP10/m2

- 0.00 - 0.20
- 0.21 - 0.30
- 0.31 - 0.40
- 0.41 - 0.50
- 0.51 - 0.60



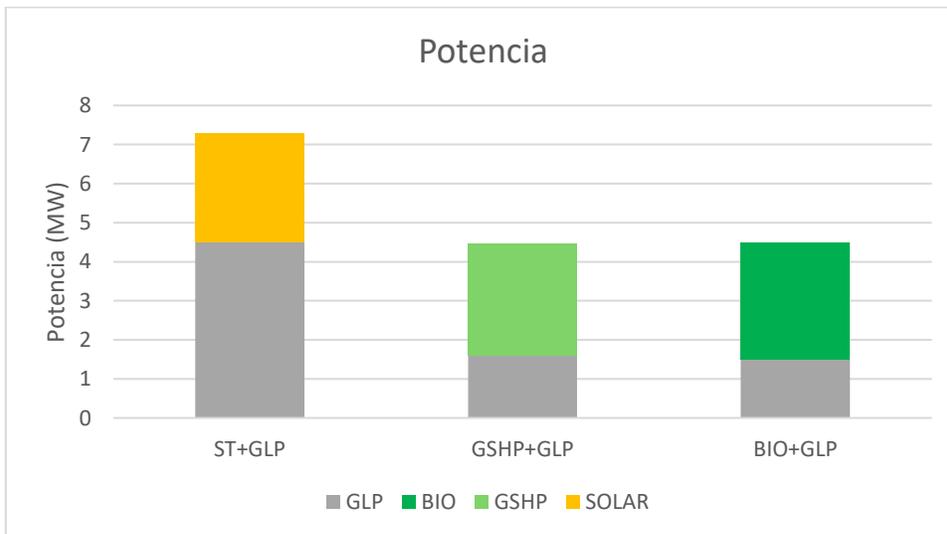
Emissiones MP10 para cada macrolote.



Inclinación	°	40°
Fracción Solar	%	33,40%
Eficiencia Sistema	%	48%

Parámetros técnicos por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Potencia calderas Biomasa	MWt	0	0	3,00
Potencia calderas GLP	MWt	4,5	1,60	1,50
Potencia Bomba de Calor	MWt	0	2,88	0
Potencia Sistema Solar	MWt	2,8	0	0
Potencia Térmica	MWt	7,30	4,48	4,50
Área captación sistema solar	m ²	4000	0	0
Número de pozos	-	0	286	0
Volumen acumulación	m ³	1.800	122	81



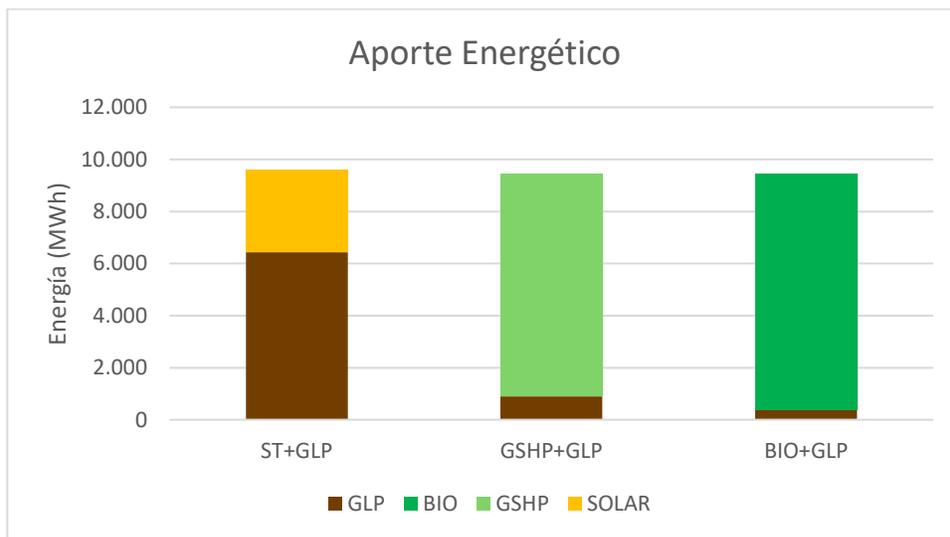
Potencias por alternativa y tecnología



Para luego presentar los balances de energía.

Balance energético por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Aporte Biomasa	MWh/año	0	0	9.057
Aporte GLP	MWh/año	6.430	889	384
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0	8.563	0
Aporte Sistema Solar	MWh/año	3.160	0	0
Aporte Biomasa	MWh/año	0%	0%	96%
Aporte GLP	MWh/año	67%	9%	4%
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0%	91%	0%
Aporte Sistema Solar	MWh/año	33%	0%	0%
Consumo Biomasa	MWh/año	0	0	10.063
Consumo GLP	MWh/año	7.145	988	427
Consumo electricidad	MWh/año	0	2.825	0



Balances energéticos por alternativa y tecnología



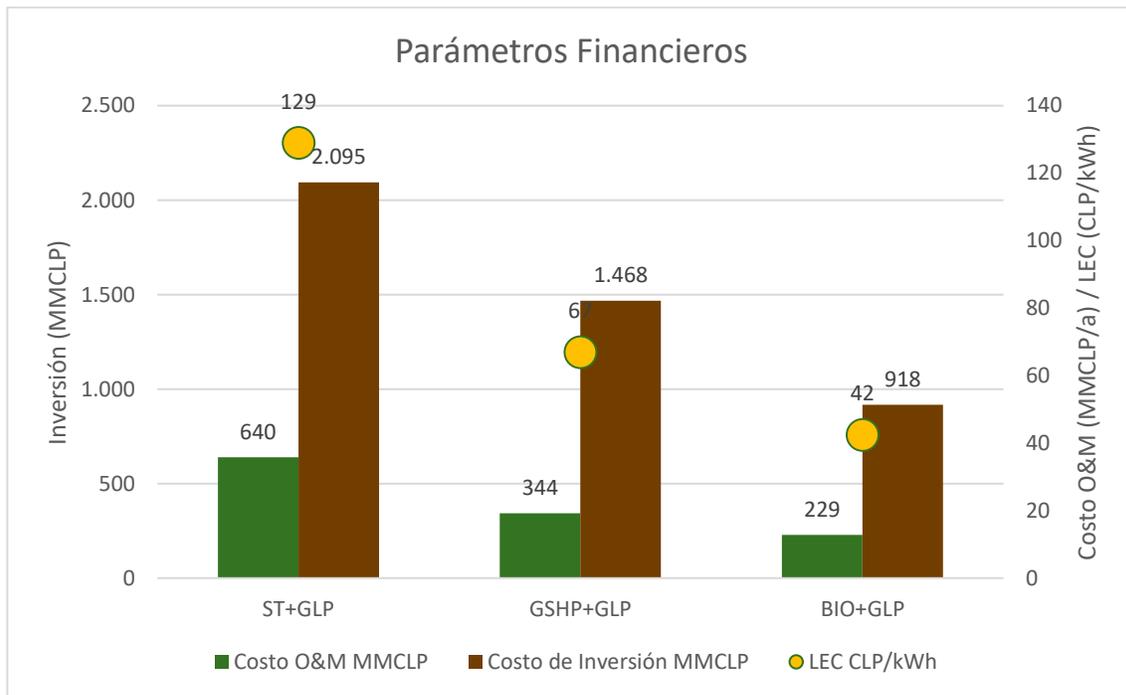
Finalmente, se presenta los costos de inversión de estos sistemas de generación.

Tabla 1. Inversiones por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Calderas Biomasa	CLP	0	0	449.604.998
Calderas GLP	CLP	60.991.949	24.852.968	23.484.959
Bomba de Calor	CLP	0	279.760.000	0
Campo de pozos	CLP	0	572.000.000	0
Sistema Solar	CLP	1.092.000.000	0	0
Acumulación	CLP	304.846.636	75.238.550	60.935.863
Edificio Central	CLP	129.007.897	160.543.161	161.259.872
Otros costos	CLP	158.684.648	111.239.468	69.528.569
Ingeniería e indirectos	CLP	174.553.113	122.363.415	76.481.426
Imprevistos	CLP	174.553.113	122.363.415	76.481.426
Inversión Total	CLP	2.094.637.356	1.468.360.976	917.777.112

Tabla 2. Parámetros financieros por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Costo Biomasa	MMCLP	0	0	184
Costo GLP	MMCLP	595	82	36
Costo electricidad	MMCLP	3	253	0
Costo Mantenimiento	MMCLP	42	9	9
Costo O&M	MMCLP	640	344	229
Costo de Inversión	MMCLP	2.095	1.468	918
LEC	CLP/kWh	129	67	42



Parámetros financieros por alternativa

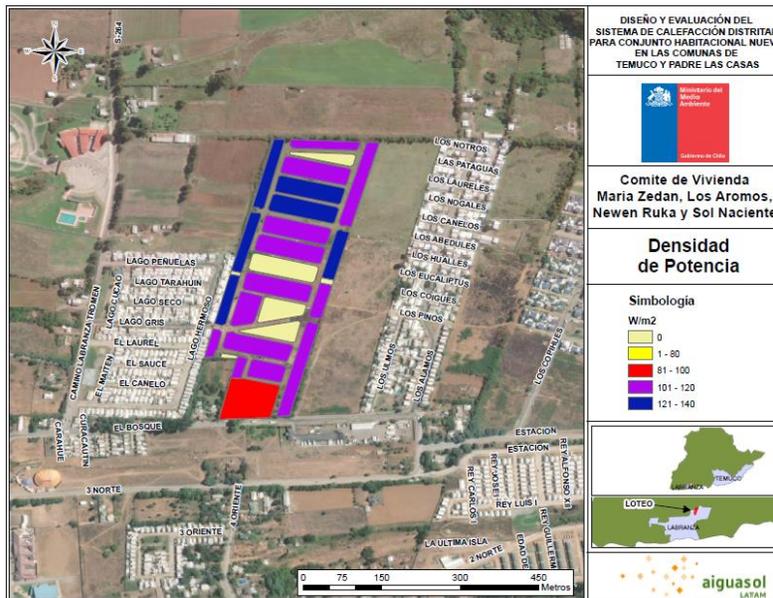
A la vista de los resultados obtenidos para el LEC, que se indican en la ilustración anterior, donde se consideran los montos de inversión más los costos de operación y mantenimiento durante el período a evaluar, se concluye que, si se desea obtener el menor costo nivelado de energía, la tecnología de calderas de biomasa con calderas de gas licuado es la indicada, por lo que el sistema a continuación se diseña siguiendo este plan.

Una vez decidida la tecnología que se utilizará para la generación de calor, se comienza con el diseño conceptual de la central y red. En primer lugar, se decide utilizar el lote dedicado a Equipamiento para la ubicación de la central térmica, bajo superficie. El lote de equipamiento cuenta con una superficie de 1.879 m², y la central térmica se estima ocupa un área de 320 m².



Ubicación del área de Equipamiento dentro del Megaproyecto de Labranza

Respecto al diseño de la red, se propone una estructura cuadriculada, siguiendo el trazado de las calles interiores del conjunto habitacional, con el fin de realizar la menor intervención posible al terreno que utilizan las viviendas. Para el buen diseño de la red se debe contar con el mapa de densidad de potencia, el que muestra cuánta potencia por m² de terreno se alcanza en un determinado lote.



Mapa de Potencia del conjunto habitacional Labranza



Con el mapa, se puede llegar a un diseño de red como el que muestra la imagen a continuación, red que alcanza una extensión de 2.246 m².

Con estos aspectos listo, se procede al diseño de la central térmica, la que presenta las siguientes características técnicas.

Características Generales proyecto Labranza.

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia calderas Biomasa	<i>MWt</i>	3,0
Potencia calderas GLP	<i>MWt</i>	1,5
Potencia Térmica	<i>MWt</i>	4,5
Volumen acumulación	<i>m3</i>	81
Aporte Biomasa	<i>MWh/año</i>	9.057
Aporte GLP	<i>MWh/año</i>	384
Aporte Biomasa	<i>MWh/año</i>	96%
Aporte GLP	<i>MWh/año</i>	4%

A continuación, se procede a generar alternativas de modelos de negocio, las que difieren entre sí en los roles que toman los diferentes actores involucrados en un proyecto de calefacción distrital. Los modelos propuestos:

- **Modelo 1:** El primer modelo propuesto se establece como el caso tradicional, donde los roles son asumidos por los actores de la forma que comúnmente el mercado actual dispone. En primer lugar, una inmobiliaria es la que desarrolla el proyecto de edificación, para luego contratar a la constructora que lo ejecute. En este proceso se debe contratar la empresa especialista para el desarrollo y ejecución del proyecto de clima y agua caliente sanitaria (ACS), quedando todo el sistema como parte del equipamiento del proyecto de propiedad de la comunidad.
- **Modelo 2:** Este Modelo de negocios es equivalente al anterior excepto porque, ya sea por interés de la Inmobiliaria o por una exigencia municipal (regional), el proyecto contemple el uso de un sistema de Calefacción Distrital, razón por la cual, la inmobiliaria licitará el desarrollo, construcción y operación de un sistema de calefacción distrital para el proyecto en formato ESCO. Esto significa que la empresa ESCO se adjudica un contrato a un plazo definido para ser el suministrado de la energía térmica del condominio, lo que lo obliga a realizar las inversiones en los sistemas de generación y distribución. Esto podría variar si se desea que una parte de sea de propiedad de la



comunidad o no...por ejemplo, podrían ser las redes de la comunidad y la Central Térmica de la ESCO, o en un porcentaje a determinar, impactando ello en las condiciones de tarifa y plazos del contrato.

- **Modelo 3:** Este modelo se basa en el hecho de que la municipalidad es propietaria de los terrenos destinados al proyecto inmobiliario y por ende es esta quien asume el rol de inmobiliaria, es decir desarrolla el proyecto y se hace cargo del uso definitivo que tendrá el edificio.

La tabla a continuación resume los costos principales de un proyecto de calefacción distrital.

Resumen de costos de sistema de calefacción distrital.

Inversiones		
Red de distribución de Calor	CLP	\$ 319.586.800
Costo por Obra Civil	CLP	\$ 11.382.375
Costo Material	CLP	\$ 35.419.439
Imprevistos	CLP	\$ 4.680.181
Sistema Generación de Calor	CLP	\$1.045.027.211
Calderas de biomasa y accesorios (MW)	CLP	\$ 516.816.807
Acumulación (m3)	CLP	\$ 60.935.863
Edificio Central Térmica (m2)	CLP	\$ 206.743.425
Otros	CLP	\$ 74.076.924
Ingeniería e indirectos	CLP	\$ 81.484.617
Imprevistos	CLP	\$ 81.484.617
Conexión de clientes de calor	CLP	\$ 937.586.714
Costo de Inversión Total	CLP	\$2.302.200.725
Costos Operacionales		
Costo Biomasa	CLP	\$ 184.269.853
Costo GLP	CLP	\$ 35.563.134
Costo Mantenimiento	CLP	\$ 8.775.000
Costo O&M	CLP	\$ 228.607.987

Para poder tomar una decisión informada respecto de la idoneidad de un proyecto de calefacción distrital en relación sistemas de calefacción individual por vivienda, se realiza una evaluación social comparativa, entre los siguientes sistemas propuestos.



Propuesta soluciones para Casas

	Calefacción	ACS
Caso Base	Estufas a leña	Calefont a GLP
Caso 1: SolarT-E	Sistema Solar Térmico + Estufa a pellet + Calefont Solar	
Caso 2: PV-SP	Split Inverter	Fotovoltaico + Acumulador de ACS eléctrico
Caso 3: DH	Distrital	

Propuesta soluciones para Departamentos

	Calefacción	ACS
Caso Base	Estufas a parafina	Calefont a GLP
Caso 1: SolarT-E	Sistema Solar Térmico + Estufas a Parafina con ducto de gases al exterior + Calefont Solar	
Caso 2: PV-SP	Split Inverter	Fotovoltaico + Acumulador de ACS eléctrico
Caso 3: DH	Distrital	

Y considerando los siguientes presupuestos:

Presupuesto Solución Solar Térmica

Partida	Casas	Departamentos
Costo Colector	\$ 557.111	\$ 557.111
Cant Col / Vivienda	1	64
Cantidad Total Colectores	382	64
Costo Acumulador	\$ 1.093.790	\$ 5.543.200
Cantidad Acumuladores	382	2
Costo Estructura Montajes	\$ 185.748	\$ 147.881
Cantidad Total Estructura	382	64
Calefont Solar	\$ 215.126	\$ 121.849
Cantidad Calefont	382	80
Costo Estufas para calefacción	\$ 799.990	\$ 129.990
Cantidad Estufas	382	80



Costo Total por Colectores	\$ 212.816.402	\$ 35.655.104
Costo Total por Acumuladores	\$ 417.827.890	\$ 11.086.400
Costo Total Calefont	\$ 82.178.151	\$ 9.747.899
Costo Total por Estructuras	\$ 70.955.583	\$ 9.464.358
Costo Total por Estufas	\$ 305.218.000	\$ 8.738.824
Otros Costos	\$ 70.159.988	\$ 5.620.586
Instalación	\$ 210.479.963	\$ 14.051.466
Control	\$ 70.159.988	\$ 5.620.586
TOTAL	\$ 1.391.063.678	\$ 99.985.223

Presupuesto Solución Fotovoltaica + Split

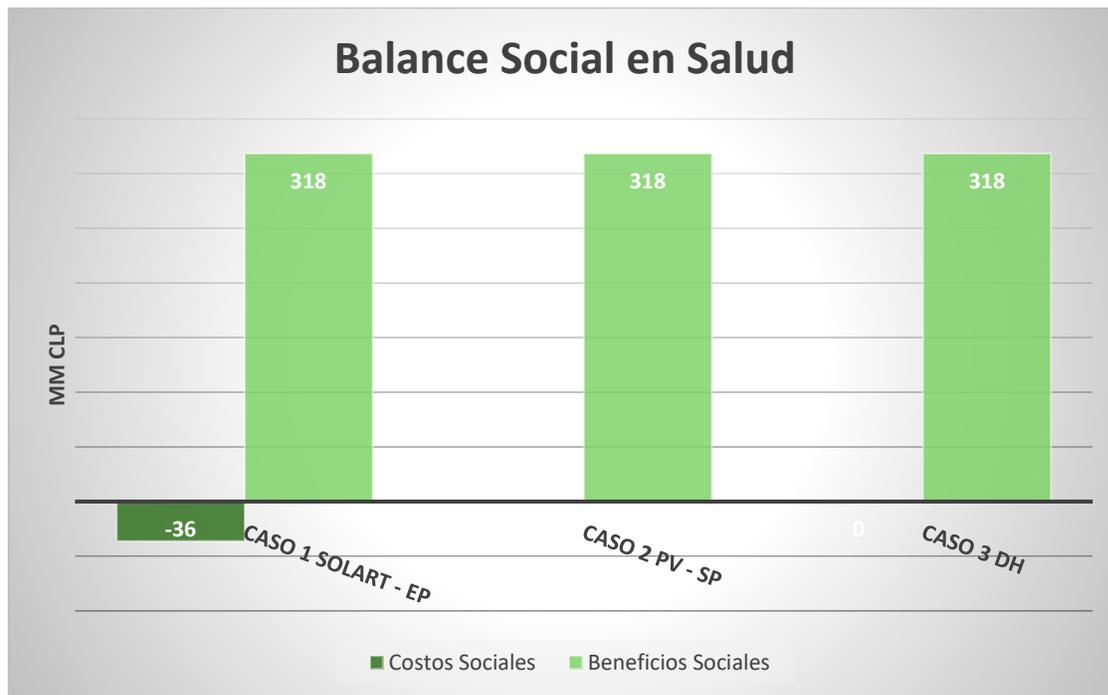
Partida	Casas	Departamentos
Costo panel	\$ 175.934	\$ 175.934
Cantidad de Paneles / Vivienda	8	360
Cantidad Total paneles	3056	360
Costo Inversor	\$ 1.093.790	\$ 7.615.755
Cantidad Total inversores	382	2
Costo Estructura	\$ 300.697	\$ 450.041
Costo Total estructura	382	24
Termo eléctrico	\$ 324.361	\$ 247.891
Cantidad Total de termos eléctricos	382	80
Split 9000	\$ 327.723	\$ 327.723
Cantidad	764	80
Split 12000	\$ 352.101	\$ 352.101
Cantidad	0	80
Split 18000	\$ 369.739	\$ 369.739
Cantidad	382	0
Costo Por paneles	\$ 537.654.512	\$ 63.336.264
Costo Por inversores	\$ 417.827.890	\$ 15.231.510
Costo Por estructura	\$ 114.866.254	\$ 10.800.988
Costo Otros	\$ 107.034.866	\$ 8.936.876
Costo Termos	\$ 123.906.034	\$ 19.831.261
Costo Split	\$ 391.620.622	\$ 54.385.882
TOTAL	\$1.692.910.177	\$172.522.782



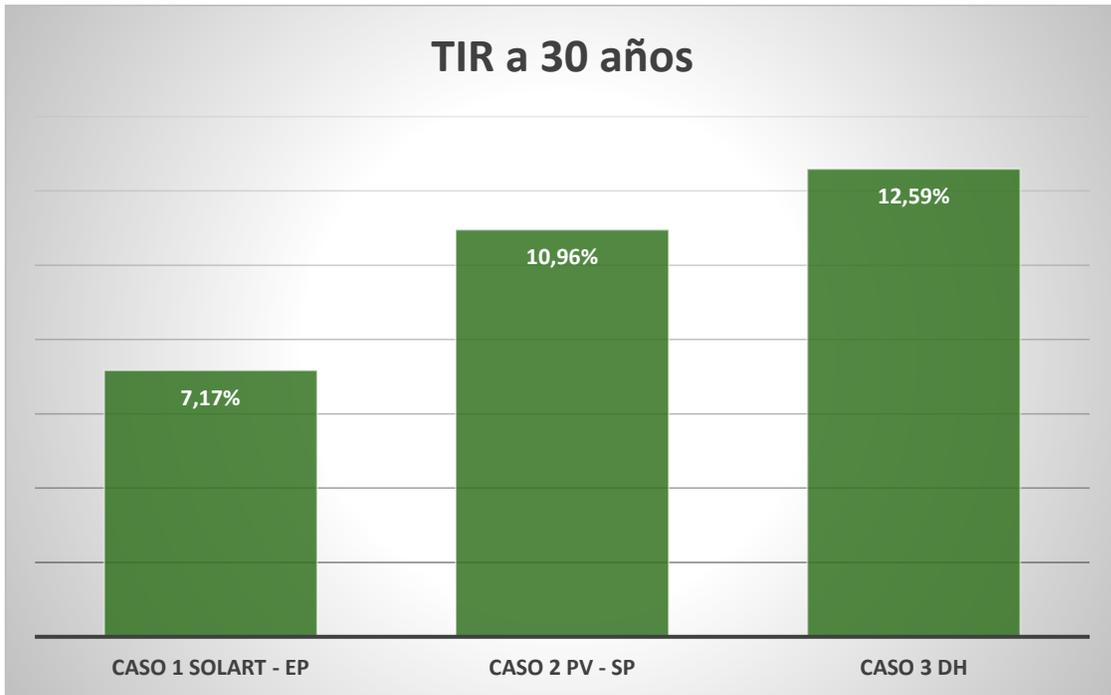
Costo sistema distrital

Partida	Costo
Costo Piping	\$ 319.586.800
Costo Interconexión	\$ 937.586.714
Costo Radiadores	\$ 23.290.235
Costo Central térmica y otros	\$ 769.166.543
Costo Total DH	\$ 2.049.630.291

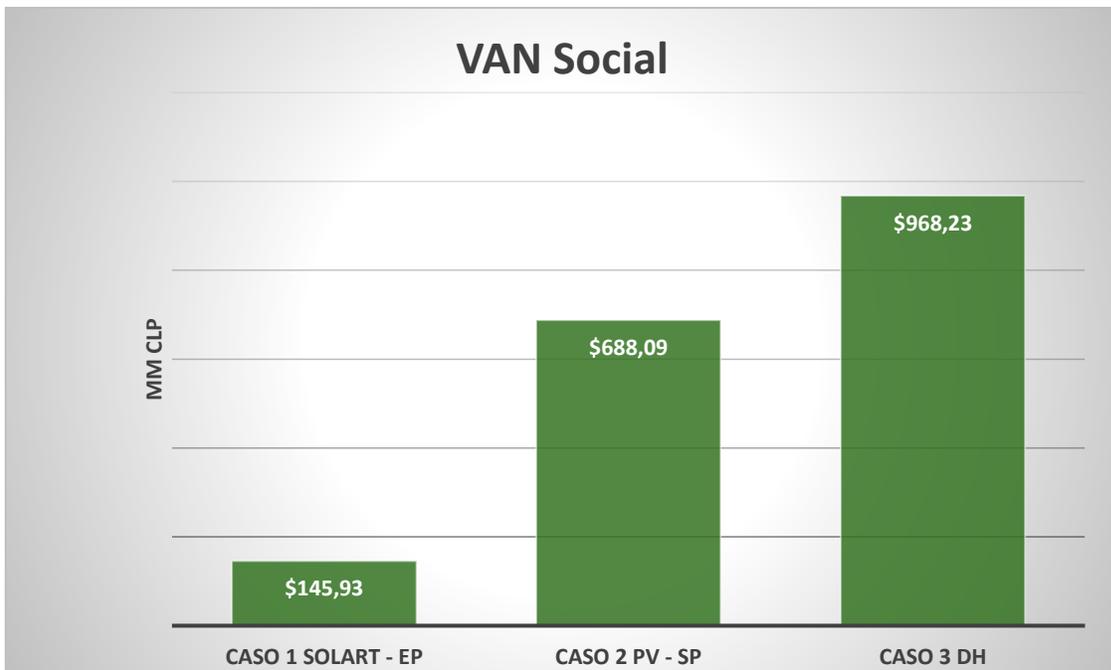
Se obtienen finalmente los siguientes resultados para la evaluación social comparativa entre todos los sistemas.



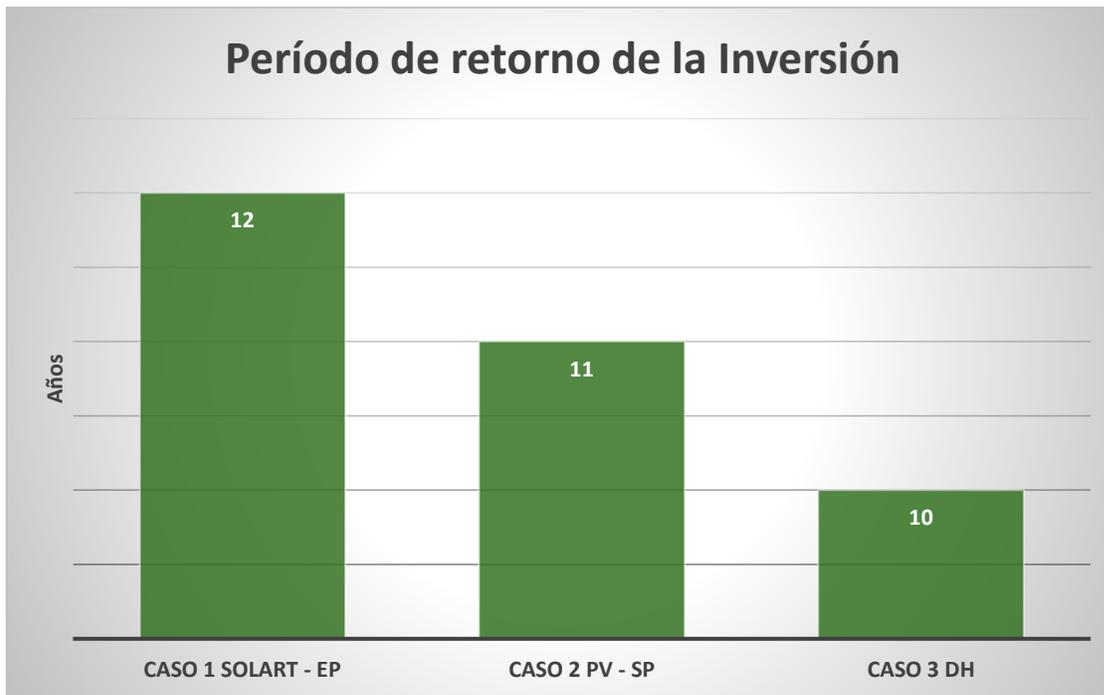
Balance Social de Salud



Tasa interna de retorno a 30 años por solución propuesta



VAN social del proyecto



Período de retorno de la inversión

Además, se realiza un análisis para obtener el aumento en el precio de venta de las viviendas, considerando la existencia del sistema de calefacción distrital

Distribución de Costos y aumento del precio final de venta de las viviendas

Tipología Viviendas	Cantidad de viviendas	Costo Por Piping + Central /vivienda	Costo Por Interconexión /vivienda	Costo Por Radiador/vivienda	Aumento en UF	Precio Final En Uf	% Aumento
Casas	382	\$1.228.016	\$2.257.427	\$350.000	136	1086	14%
Departamento	80	\$1.228.016	\$940.621	\$300.000	87	1037	9%

Finalmente, se analiza la existencia de potenciales otros clientes que se encuentren fuera del proyecto, y cómo esto afectaría al desarrollo del proyecto de calefacción distrital, identificándose los siguientes edificios.



Características generales edificios cercanos al Megaproyecto Labranza

Nombre	Distancia [m]	Superficie [m2]	Demanda [kWh]	Potencia [kW]
Complejo Deportivo	379	2.039	283.798	149
Gimnasio	728	427	59.395	31
Escuela	797	981	55.648	118
CESFAM	642	2.657	519.507	462
Biblioteca Labranza	379	1.689	56.555	90



Potenciales Clientes en las cercanías del proyecto

Se observa que las distancias al conjunto habitacional desde los edificios mencionados no superan el kilómetro, siendo la distancia mayor a la que se encuentra la Escuela, edificio cuya demanda no es tan grande, sin embargo, su importancia en términos de la comunidad es notoria. Por otro lado, la demanda de energía mayor la presenta el CESFAM, por lo que sería atractivo poder conectar ese cliente, que se encuentra a una distancia menor a otros edificios. Si se logra conectar el CESFAM como cliente, sólo harían falta unos 150 metros de tubería a lo largo de la misma línea para conectar dos clientes más, que significarían un poco más de 110 MWh de demanda de energía.

la que indica las características generales del sistema de generación sin considerar los potenciales clientes. Esta solución considera 3 calderas de biomasa de 1 MW cada una o dos de 1,5 MW. Si se contemplan calderas de 1 MW entonces, bastaría con agregar otra caldera de biomasa de la misma capacidad para cumplir (de sobra) con la potencia exigida por el nuevo proyecto. Se plantea que para poder suplir la demanda de estos edificios se necesitaría agrandar la central térmica en 1 MW y extender la red de distribución como indica la imagen a continuación.



Tuberías necesarias para conectar a los potenciales clientes en las cercanías del proyecto

De la ilustración anterior se observa que, a modo general, extendiendo dos de las tuberías previamente diseñadas se puede llegar a los dos polos donde se concentran los potenciales clientes del sistema de calefacción distrital.

Al llevar a números las apreciaciones anteriores, se propone que, para unir los edificios a la red distrital existente, habría que realizar las siguientes extensiones de servicio, sin modificar lo ya propuesto:

- Desde la central térmica se adiciona una tubería nueva, paralela a la ya existente que se dirija al sur, para cubrir el Gimnasio, Escuela y CESFAM.
- Desde la central, se adiciona una tubería nueva, paralela a las existentes, que se dirija al norte para cubrir el Complejo Deportivo y la Biblioteca.
- Se debe agrandar el edificio de la Central Térmica para albergar una caldera de biomasa extra, de 1 MW, y una caldera de gas adicional como refuerzo.



En términos de costos, estos cambios suponen adición de equipos, mano de obra, etc. A continuación, se indican las partidas principales de costos. En este caso, se omite la partida de radiadores, pues los edificios grandes pueden distribuir su calor de varias formas incluyendo, pero no limitándose, a fan coil, radiadores, etc. Por lo que los siguientes costos son orientativos.

Costo sistema distrital adicional

Partida	Costo
Costo Adicional Piping	\$68.291.846
Costo Adicional Interconexión	\$76.554.540
Costo Adicional Central térmica y otros	\$173.353.291
Costo Total Adicional DH	\$318.199.677

Con los costos orientativos de la tabla anterior, se debe definir ahora los ingresos del sistema. Para evaluar este aspecto se realiza un flujo de caja sólo incluyendo los clientes nuevos, de modo de analizar su rentabilidad a una tarifa de venta mayor a la de las viviendas. Evaluando el flujo de estos clientes a una tasa de descuento privada de 12% y considerando una tarifa fija estimada de 70 CLP/kWh, se obtiene una rentabilidad de 20,43% y un período de retorno de la inversión de 6 años. De este modo, se observa que la rentabilidad de estos edificios resulta mayor que la de las residencias evaluadas a una tasa social. En este sentido, la situación puede analizarse de dos formas:

- El proyecto se realiza bajo un sistema social, estatal, permitiendo que la rentabilidad de los clientes ancla reduzca la necesidad de subsidios extra para bajar el precio de venta de las casas.
- El proyecto se realiza de forma privada, reevaluando el sistema completo bajo una tasa financiera de 12% y permitiendo ahora que los clientes ancla rentabilicen el proyecto completo de forma de hacerlo más atractivo a la inversión.

Cualquiera de las dos opciones implica que el impacto de la adición de nuevos clientes se traduce en un aumento de la rentabilidad del proyecto, lo que permite, ya sea la entrada de nuevos actores privados o la reducción de subsidios por parte del estado.



1. ANTECEDENTES

En las comunas de Temuco y Padre las Casas la principal fuente de contaminación atmosférica corresponde al sector residencial, debido a la combustión de leña, tanto para calefacción, agua caliente sanitaria y cocina, razón por la cual el Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) se enfoca principalmente en disminuir las emisiones en este sector. En esta zona se estima que el 94% del total de emisiones de MP 2,5 provienen de la combustión residencial. Por esta razón, el Plan considera medidas para el mejoramiento de la eficiencia de calefactores y de la disponibilidad de otros combustibles.

En específico, el Artículo 38 del PDA establece: "En un plazo de 3 años desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, el Ministerio del Medio Ambiente, en coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, evaluarán el desarrollo de un diseño para un proyecto piloto de calefacción distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada, para lo cual procurarán obtener financiamiento sectorial o del Fondo Nacional de Desarrollo regional (FNDR).

El objetivo de un proyecto de calefacción distrital es entregar calefacción y agua caliente sanitaria (opcional) a un conjunto de edificaciones, de manera eficiente, sustentable y con un bajo impacto en la calidad del aire. Este proyecto de calefacción distrital reemplazaría las soluciones de calefacción unitarias de cada edificación por un sistema centralizado de generación de calor y agua caliente sanitaria, que sería distribuida mediante redes de tuberías aisladas subterráneas a cada vivienda, para luego ser distribuida dentro de las edificaciones.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de energía distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada de Temuco y Padre las Casas y evaluar su factibilidad al compararlo con otras alternativas de calefacción.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del trabajo son

1. Diseñar metodología para determinar el lugar óptimo de emplazamiento del proyecto de calefacción distrital para proyecto habitacional nuevo en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.
2. Recopilar y analizar la información necesaria para el dimensionamiento del sistema de calefacción distrital para el conjunto habitacional que se seleccionará.
3. Diseñar a nivel de ingeniería conceptual un proyecto de energía distrital que provea calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), estableciendo el lugar de emplazamiento del o los sistemas centralizados de generación de calor, además de un modelo de negocios acorde a la realidad del nuevo conjunto habitacional.



4. Comparar y evaluar, tanto cuantitativa como cualitativamente, el sistema de energía distrital con otros sistemas individuales de calefacción y generación de ACS.
5. Evaluar el entorno del proyecto para identificar potenciales futuros clientes del sistema distrital.

1.3. ALCANCES

El presente documento tiene por alcance reportar todas las actividades que se han realizado con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos que contempla el proyecto.

Objetivo Específico 1

- Presentar una propuesta metodológica que permita evaluar al menos tres proyectos habitacionales que tengan potencial para incorporar sistema de calefacción distrital, considerando variables técnicas, económicas y ambientales. Los proyectos evaluados deberán ser sujetos a subsidio para la vivienda.
- En cada proyecto se deberá considerar información e insumos proporcionados por MINVU y/o SERVIU Araucanía, entre ellos:
 - Especificaciones técnicas de las viviendas.
 - Planimetría de cada tipología de vivienda.
 - Plano loteo del proyecto
 - Estimación preliminar de demanda de energía para calefacción de las viviendas.
 - Estimación de emisiones del proyecto.
- Posterior a su evaluación y en conjunto con la contraparte técnica se deberá escoger el conjunto habitacional con mayor potencial para instalación de sistema de calefacción distrital.

Objetivo Específico 2

- Ejecutar una reunión de inicio en Temuco, además de una visita a terreno al lugar donde se emplazará el proyecto. Se deberá generar una minuta de la reunión con los acuerdos principales, mientras que para la salida a terreno se deberán tomar fotografías de la zona para adjuntar como antecedentes al primer informe.
- Recopilar información disponible de los diseños arquitectónicos del conjunto habitacional a proyectarse.
- Recopilar información sobre la demanda térmica del conjunto habitacional, a través de modelación térmica según orientaciones y materialidad de éste. Se deberá estimar la demanda de energía de cada tipología de vivienda del conjunto de edificaciones a proyectar, además de la demanda total. Así se deberá calcular la potencia térmica que deberá entregar el o los sistemas centralizados.

Objetivo Específico 3

- Determinar de manera cualitativa y cuantitativa, en conjunto con la contraparte técnica, la tecnología a utilizar para la generación de calor. Se deberán comparar al menos 3 alternativas de



tecnología o configuraciones, estableciendo sus costos de operación por unidad de energía, costos de inversión, y costos de mantenimiento, con el fin de seleccionar la más idónea.

- Determinar el emplazamiento de la o las unidades generadoras de calor y redes de distribución, tanto principales como secundarias, considerando factores técnicos, económicos y sociales.
- Diseñar a nivel de ingeniería conceptual la planta de calefacción distrital, que considere al menos la sala de calderas (en caso de que corresponda), instalaciones interiores, y plazos estimados de ejecución de la obra.
- Proponer un modelo de negocios que cubra los aspectos de inversión, propiedad del sistema, operación, cobro de cuentas, respaldos financieros, entre otros aspectos, que sea acorde a la realidad del proyecto y la realidad local.
- Estimar los costos a nivel general, tanto de inversión como de operación y mantenimiento. Se deberá contar con al menos una cotización del sistema de generación de calor de las características determinadas en el diseño conceptual.

Objetivo Específico 4

- Elegir, en conjunto con la contraparte técnica, 2 sistemas alternativos de calefacción y generación de agua caliente sanitaria (ACS), además de un caso Base, que considere sistema individual de calefacción (caldera a leña), y generación de ACS con calefontes a gas licuado.
- Realizar una evaluación social de los tres proyectos (distrital y 2 sistemas alternativos), utilizando como punto de comparación el Caso Base, para poder establecer el escenario más rentable socialmente. Los supuestos de costos, tasas de financiamiento y de descuento, deberán ser validados con la contraparte técnica y se deberán obtener distintos indicadores, tales como el VAN, la TIR y el Tiempo de Retorno de la Inversión. Adicionalmente, se deberán considerar los costos sociales de las emisiones contaminantes, valores que deberán ser validados por la contraparte técnica.
- Determinar en relación al costo actual del proyecto inmobiliario cuál sería el incremento en el precio final de las viviendas considerando un sistema de calefacción distrital.

Objetivo Específico 5

- Recopilar información de potenciales clientes en viviendas, edificios comerciales y de servicios que estén cercanos al proyecto a evaluar y que utilicen calefacción a leña en sus dependencias.
- Utilizando supuestos y la información recabada en el punto anterior, realizar proyección de prestación del servicio a clientes fuera del proyecto evaluado.



2. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN

Con tal de poder seleccionar un proyecto habitacional óptimo para la evaluación de un proyecto de calefacción distrital, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, se diseña una metodología basada en el análisis de variables técnicas, económicas y ambientales que permitan evaluar de forma preliminar la factibilidad de la implementación de un proyecto de este tipo.

2.1. MARCO DEL ESTUDIO

Las comunas de Temuco y Padre Las Casas pertenecen a la conurbación de Gran Temuco, en la Región de la Araucanía, contando con una superficie total de 864,7 km². En la Ilustración 1 se observa una imagen satelital de la conurbación, obtenida mediante Google Earth. Además, se observa en la imagen el sector de Labranza, la que cuenta con 2,40 km² de superficie, al Suroeste de la ciudad de Temuco. Este sector resulta relevante, pues en el último tiempo ha sido foco de desarrollo inmobiliario y propone ser una de las zonas hacia donde debiera expandirse el crecimiento de la ciudad de Temuco, por lo tanto, representa un lugar de interés para el emplazamiento de un proyecto de calefacción distrital.

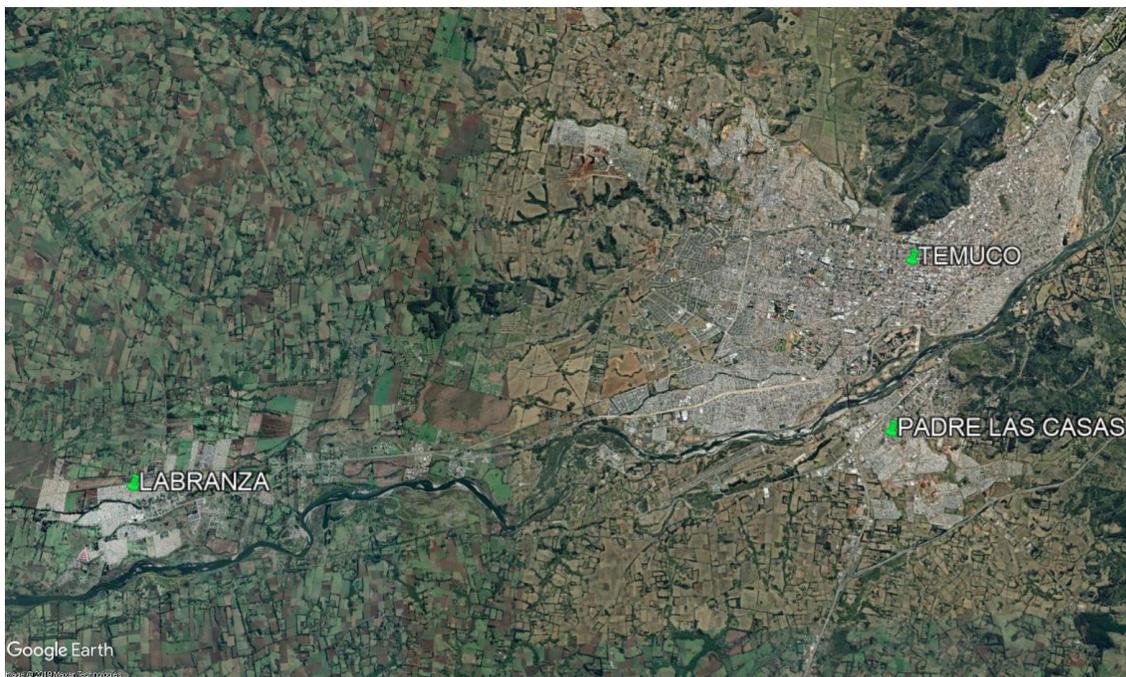


Ilustración 1. Ubicación de las comunas de Padre Las Casas y Temuco en la conurbación de Gran Temuco.



2.2. DEFINICIÓN VIVIENDA TIPO Y DEMANDA

Para la realización de una estimación preliminar de la demanda de calor de cada proyecto, se genera un modelo para la simulación de la demanda de calefacción de una vivienda tipo ubicada en la comuna de Temuco. El modelo y la simulación se realizan utilizando el software DesignBuilder. El software permite modelar geoméricamente cualquier tipología edificatoria y asignar las características técnicas de cualquier solución constructiva a sus propiedades de modo de cuantificar su desempeño energético en forma dinámica para las variaciones horarias de las condiciones climáticas en donde se simule el edificio. El motor de cálculo que utiliza el software es el de ENERGYPLUS, el cual es hoy en día uno de los referentes en el mundo para la simulación energética de edificios.

Para la simulación del clima de la comuna de Temuco, se considera la base de datos del software Meteonorm, el cual proporciona datos climáticos precisos para cualquier lugar en el planeta. El archivo con la data de la ciudad en estudio se importa al entorno de DesignBuilder, de forma de generar una librería con datos climáticos horarios, que permitan modelar el comportamiento de la localidad en donde se simulan los edificios. En la Ilustración 2 se muestran las características generales del archivo climático generado para la ciudad de Temuco.

Location templates	
Data Report (Not Editable)	
General	
Name	Aiguasol_TEMUCO
Country	CHILE
Source	ASHRAE/IWEC
WMO	857430
ASHRAE climate zone	3C
Koppen classification	Csb
Latitude (°)	-38,75
Longitude (°)	-72,63
Elevation (m)	114,0
Standard pressure (kPa)	100,0
Time and Daylight Saving	
Time zone	(GMT-04:00) Santiago
Start of Winter	Apr
End of Winter	Sep
Start of summer	Oct
End of summer	Mar
Energy Codes	
Legislative region	CHILE

Ilustración 2. Archivo climático ciudad de Temuco en DesignBuilder.



Respecto a las características de la vivienda tipo simulada, ésta se modela como una vivienda que cumpla con las especificaciones técnicas definidas para cada proyecto. En caso de no disponer de más información, la vivienda tipo se modela como una vivienda de 50 m², cuyas características constructivas se encuentran en cumplimiento con las condiciones que establece el Plan de Descontaminación Atmosférica para Temuco y Padre las Casas, el cual establece exigencias térmicas mayores a lo definido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) [1].

El resultado de estos modelos es obtener tanto perfiles horarios de demanda de calor en el año como un valor específico de demanda por unidad de área.

Tabla 3. Valores máximos de transmitancia térmica permitidos en el PDA para Temuco y Padre Las Casas

Elemento	Etapa 1 Vivienda Existente	Etapa 1 Vivienda Nueva	Etapa 2 Vivienda Existente	Etapa 2 Vivienda Nueva
Muros	0,45	0,45	0,45	0,45
Techumbre	0,33	0,33	0,28	0,28
Piso Ventilado	0,5	0,5	0,5	0,5
Puertas	-	-	1,7	1,7
Ventanas	-	-	3,6	3,6

Elemento	Estándar	Temuco Padre Las Casas
Vivienda	Clase de infiltración de aire a 50Pa (ach)	7

Ilustración 3. Tasa de infiltración máxima a través de ventanas y puertas permitida en el PDA para Temuco y Padre Las Casas

2.3. EXISTENCIA DE CONSUMIDORES ANCLA

La metodología de análisis para la elección del proyecto óptimo incluye un estudio de la existencia de consumidores de alta demanda térmica, los cuales son llamados “Consumidores Ancla” o “Consumidores Singulares”. Se les llama así a edificios que se encuentren cercanos al emplazamiento del posible proyecto, y que tienen un consumo de calor importante, como son colegios, hospitales, hoteles u hostales, convirtiéndolos en candidatos a formar parte de la red de calefacción distrital ya que dado su consumo permiten rentabilizar los proyectos.



Este tipo de cliente concentra gran cantidad de demanda en poca superficie y por lo tanto resultan atractivos para los proyectos ya que la inversión de la red puede justificarse de mayor forma si existen este tipo de consumos como parte del sistema distrital.

De existir, la demanda de estos edificios se adiciona a la calculada mediante la metodología de la vivienda tipo.

2.4. ANÁLISIS CONDICIONES DE CONTORNO

El análisis preliminar de la factibilidad de implementar calefacción distrital en los proyectos habitacionales nuevos se debe enmarcar dentro de ciertas condiciones de contorno que definen el problema.

2.4.1. PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En noviembre de 2015 se publica en el Diario Oficial el Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) por MP2,5 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas y se actualiza el existente por MP10 para las mismas comunas.

El Plan contempla una serie de medidas respecto de la gestión ambiental con la finalidad de recuperar los niveles de calidad ambiental establecidos en las normas para zonas calificadas como saturadas. Algunas de las medidas que contempla el Plan son las siguientes:

- Residenciales
 - Mejoramiento térmico de las viviendas
 - Mejoramiento de la calidad de los artefactos de combustión a leña
 - Mejoramiento de la calidad del combustible utilizado para calefacción
 - Prohibición de humos visibles (entre mayo y agosto se permite durante 15 minutos, durante el encendido). Comienza a aplicar en noviembre de 2020.
 - Prohibición del uso de calefactores hechizos, salamandras y cámara simple en la zona urbana de la zona saturada
- Asociadas al comercio
 - Prohibición de calefactores a leña en establecimientos comerciales y servicios
- Control de emisiones de calderas
 - La Ilustración 4 muestra los límites máximos permitidos para emisión de material particulado para calderas nuevas y existentes, considerando que las calderas de potencia térmica nominal mayor o igual a 300 kWt deberán cumplir con un valor de eficiencia sobre 85%.



Potencia térmica nominal de la caldera	Límite máximo de MP (mg/Nm ³)	
	Caldera Existente	Caldera Nueva
Mayor o igual a 75 kWt y menor a 300 kWt	100*	50
Mayor o igual a 300 kWt y menor a 1 MWt	50	50
Mayor o igual a 1 MWt y menor a 20 MWt	50	30
Mayor o igual a 20 MWt	30	30

Ilustración 4. Límites máximos permitidos de emisión de material particulado para calderas nuevas y existentes. [2]

2.4.2. EXISTENCIA DE FUENTES DE CALOR RESIDUAL

En sistema de calefacción distrital consta de una central térmica capaz de producir el agua caliente necesaria para suministrar el calor demandado por las viviendas y edificios conectados a la red. Estas centrales pueden utilizar distintas tecnologías y por ende distintos combustibles según los requisitos y definiciones que se hagan de un proyecto. En función de ello, serán los costos operacionales del sistema y la rentabilidad de este.

De esta forma, toda medida de recuperación de calor o utilización de calor residual proveniente de algún proceso productivo, que se encuentre disponible en las zonas aledañas al emplazamiento de una calefacción distrital, pueden permitir mejorar la rentabilidad de un proyecto ya que son formas de conseguir calor de forma gratuita o a muy bajo costo. Es por ello, que para la selección del proyecto se debe analizar también la existencia o no de fuentes de calor residuales factibles para un suministro de calor complementario al de la generación del sistema de calefacción distrital.

En esta categoría entran las plantas de procesos industriales como plantas de tratamiento de aguas, productoras de acero, de refinamiento de petróleo, fabricación de vidrio, etc. Así mismo, las centrales de generación termoeléctricas son grandes productoras de calor residual. Si bien este calor residual en general es de baja temperatura, para las calefacciones distritales puede ser muy útil. En particular las plantas de tratamiento de aguas servidas o residuales, en su proceso de deshidratación de lodos, utilizan calor industrial el cual puede ser una fuente relevante de calor residual.

Con tal de poder evaluar dicha posibilidad, se deben tener en consideración factores como el tipo de proceso industrial que genera el calor residual y el precio del suministro energético a utilizar por la tecnología definida para la central térmica del sistema distrital. La distancia de la planta productiva a la central térmica del sistema distrital es otro factor importante pues a mayor distancia, mayor es la pérdida de calor entre la fuente de calor y la central térmica. Usualmente se utiliza un radio de 2 km de distancia desde la central térmica del sistema de calefacción distrital como distancia razonable para considerar viable una fuente de calor. Esta distancia en general considera el costo del calor perdido en las cañerías en comparación con la inversión realizada. De todas maneras, si se quisiese evaluar la viabilidad de una fuente



de calor residual a mayor (o menor) distancia de los 2 km, siempre puede ser recomendable realizar de todas maneras un análisis técnico económico.

2.4.3. UBICACIÓN CENTRAL TÉRMICA

Otro aspecto necesario de estudiar tiene que ver con la existencia de sectores disponibles al interior del proyecto habitacional, en el que se pueda construir la central de generación térmica del sistema distrital. En este punto, se deben considerar restricciones como el uso de terrenos que podrían corresponder a privados, de áreas verdes o ser parte de la copropiedad, pero con un uso distinto. Si los terrenos fuesen públicos, entonces pueden existir restricciones asociadas al Plan Regulador vigente en la comuna en estudio, pues dependerá de la existencia de terrenos destinados a equipamiento o energía. Normalmente, y para resolver este punto, se proponen centrales ubicadas dentro del proyecto habitacional, emplazadas en zonas subterráneas bajo áreas verdes, zonas comunes y estacionamientos.

Otro aspecto importante respecto a la ubicación de la central y ubicación del proyecto habitacional es la accesibilidad a ambos lugares. En el caso de plantearse la central térmica como una central de biomasa, se debe contemplar la accesibilidad de los camiones que transportan la materia prima, por lo que la cercanía a vías principales es deseable.

3. PROYECTOS HABITACIONALES

Los conjuntos habitacionales que se analizan en términos de su viabilidad de implementar un proyecto de calefacción distrital son tres.

Tabla 4. Proyectos habitacionales por evaluar

Nombre	Bicentenario I y II	Megaproyecto Labranza	Nueva Costanera
Empresa	SAN JOSE	LUIS SAEZ	INMOBILIARIA NUEVAVIDA TRES LTDA.
Programa	DS 49	DS 49	DS 19
Cantidad de Viviendas	75 casas - 160 departamentos	382 casas - 120 departamentos	160 departamentos
Tipo de Vivienda	Casas y Departamentos	Casas y Departamentos	Departamentos
Dirección	Capernaum 480	El Bosque N° 691, Labranza	Calle Las Quilas 1839, Temuco.



Fecha Permiso	En Proceso	Permiso de Edificación N° 659 de Fecha 04-04-2019	S/I
Etapas PDA	2da Etapa PDA vivienda Nueva y Existente	2da Etapa PDA vivienda Nueva y Existente	S/I
Estado	S/I	Aprobado en SEIA	En ejecución

3.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.1.1. BICENTENARIO I Y II

El proyecto llamado Bicentenario I y II, se encuentra en la dirección Capernaum 480, en la comuna de Temuco. Consta de 235 viviendas, entre casas y departamentos, diseñados bajo el Decreto Supremo N°49. La Ilustración 5 muestra la ubicación del proyecto dentro de la comuna de Temuco, al noreste de la comuna.

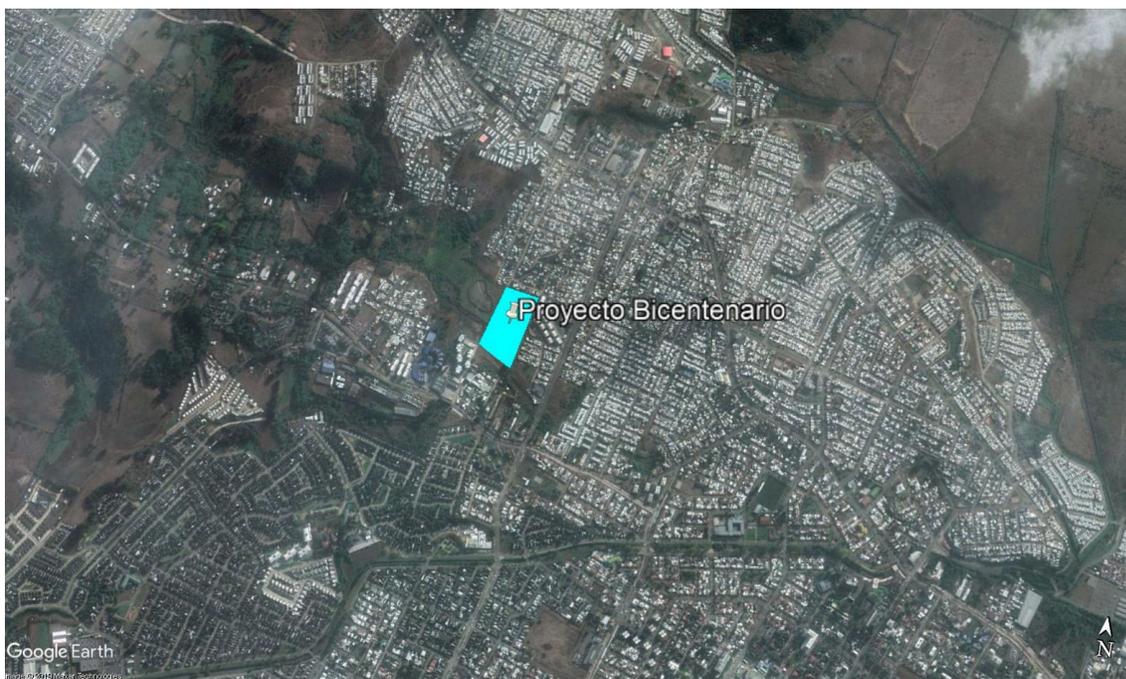


Ilustración 5. Ubicación del Proyecto Bicentenario

En la Ilustración 6 se observa la ubicación relativa del proyecto, extraída del plano de loteo enviado.

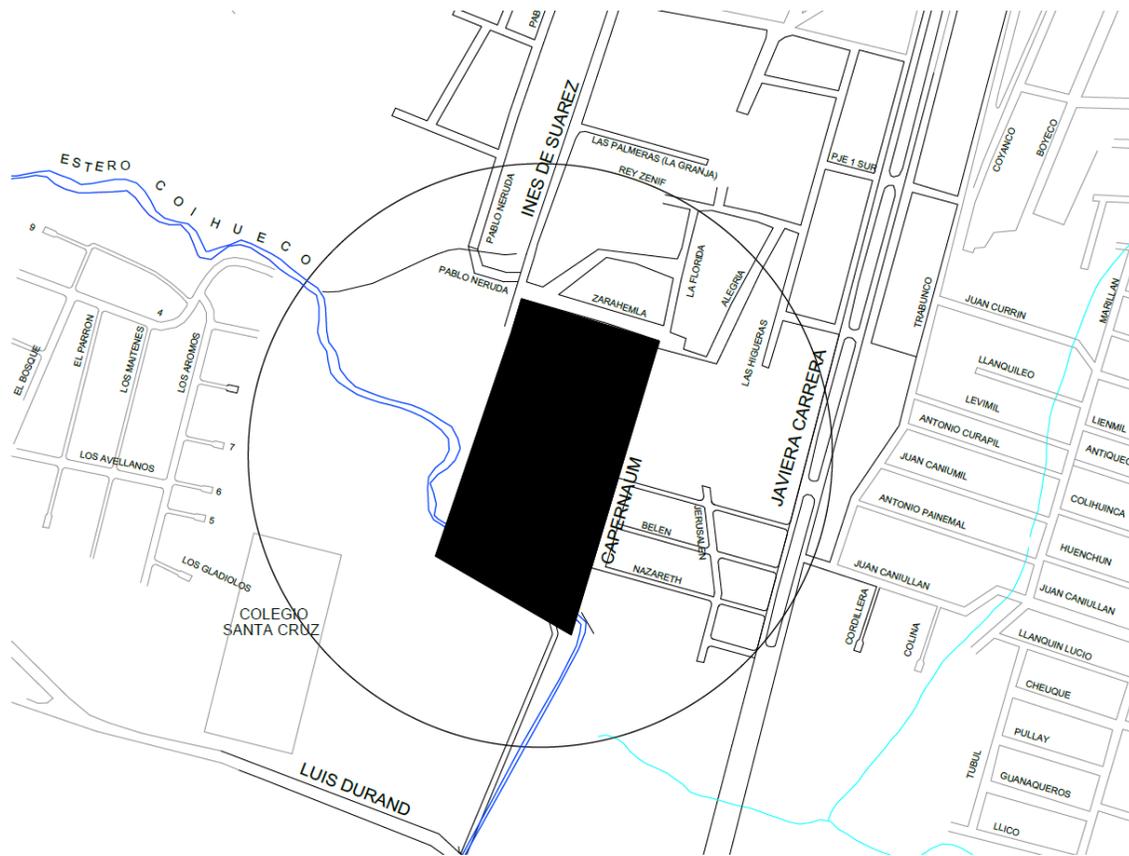


Ilustración 6. Zoom Plano Loteo proyecto Bicentenario, con la ubicación relativa de proyecto.

En la visita a terreno se tomaron fotografías relevantes respecto del entorno del proyecto, en particular las edificaciones ancla en las inmediaciones del emplazamiento del conjunto habitacional.



Ilustración 7. Ubicación edificios singulares relativos al proyecto en estudio

En las ilustraciones siguientes, se observan algunos de los edificios ancla más importantes en términos de su capacidad de demandar calor a la red de calefacción distrital. Es importante notar que todos los edificios que se indican se encuentran a menos de 500 metros de distancia del proyecto Bicentenario, por lo que se consideran relevantes para el estudio.



Ilustración 8. Colegio Santa Cruz, ubicado a unos 300 metros del proyecto en estudio.



Ilustración 9. Sede Temuco de instituto INACAP, ubicado a unos 460 metros del proyecto en estudio.



Ilustración 10. Jardín Infantil próximo a construir, ubicado a unos 290 metros del proyecto Bicentenario.



Ilustración 11. Conjunto de edificios residenciales, ubicado a unos 460 metros del proyecto Bicentenario.

En la visita a terreno se analizó también la posible existencia de fuentes de calor residual, sin embargo, en las inmediaciones del proyecto no se pudieron identificar instalaciones que pudiesen servir para este fin.

Por otro lado, respecto a la ubicación de la central de generación térmica del sistema de calefacción distrital, se puede observar en la Ilustración 12 que la accesibilidad es relativamente deficiente, a priori no se identifica una vía principal que conecte directamente al proyecto con las vías de acceso importantes, marcadas con celeste en la ilustración. Respecto a la disponibilidad de terrenos para la central de generación térmica, al oeste del proyecto se nota una importante superficie no edificada, sin embargo, en la visita a terreno se notó que este terreno se encuentra por sobre el nivel base del proyecto Bicentenario, y además, se desconoce si estos terrenos se encuentran disponibles para un uso de esta índole.



Ilustración 12. Ubicación de proyecto Bicentenario en relación a la existencia de terrenos libres y accesibilidad

De esta forma, se estima que un lugar apto para la ubicación de una central térmica sería bajo ciertas áreas verdes propias del proyecto en evaluación, las que se indican en la Ilustración 13. Las áreas verdes con una extensión importante para estos fines se indican en color verde, mientras que en color amarillo se destaca el área destinada a equipamiento del proyecto Bicentenario.

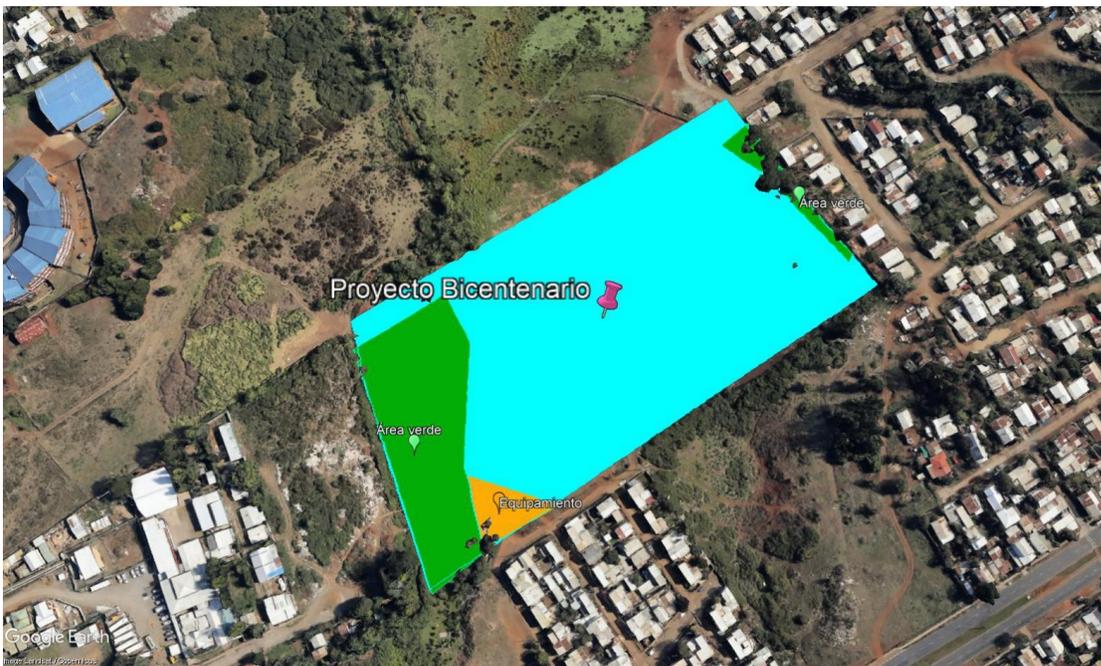


Ilustración 13. Ubicación de áreas verdes y área de equipamiento en proyecto Bicentenario



3.1.2. MEGAPROYECTO LABRANZA

El Megaproyecto Labranza se encuentra ubicado en la dirección El Bosque N°691 en la localidad de Labranza, comuna de Temuco. En su diseño consta de 382 casas y 120 estancias de departamentos, de las cuales 80 están destinadas a residencias, mientras que las restantes corresponden a salas de basura (20) y estancias destinadas a circulaciones (20). Las viviendas se encuentran diseñadas bajo el Decreto Supremo N°49.



Ilustración 14. Ubicación de proyecto Labranza

En la Ilustración 15 se tiene un extracto del plano de loteo del proyecto de Labranza.



Ilustración 15. Extracto plano loteo Megaproyecto Labranza

En la Ilustración 16 se observa la ubicación de los edificios ancla más importantes respecto del proyecto de Labranza, entre los que se incluyen el Centro Comunitario, al noroeste del proyecto, un CESFAM, al suroeste y un gimnasio, a unos metros del CESFAM.

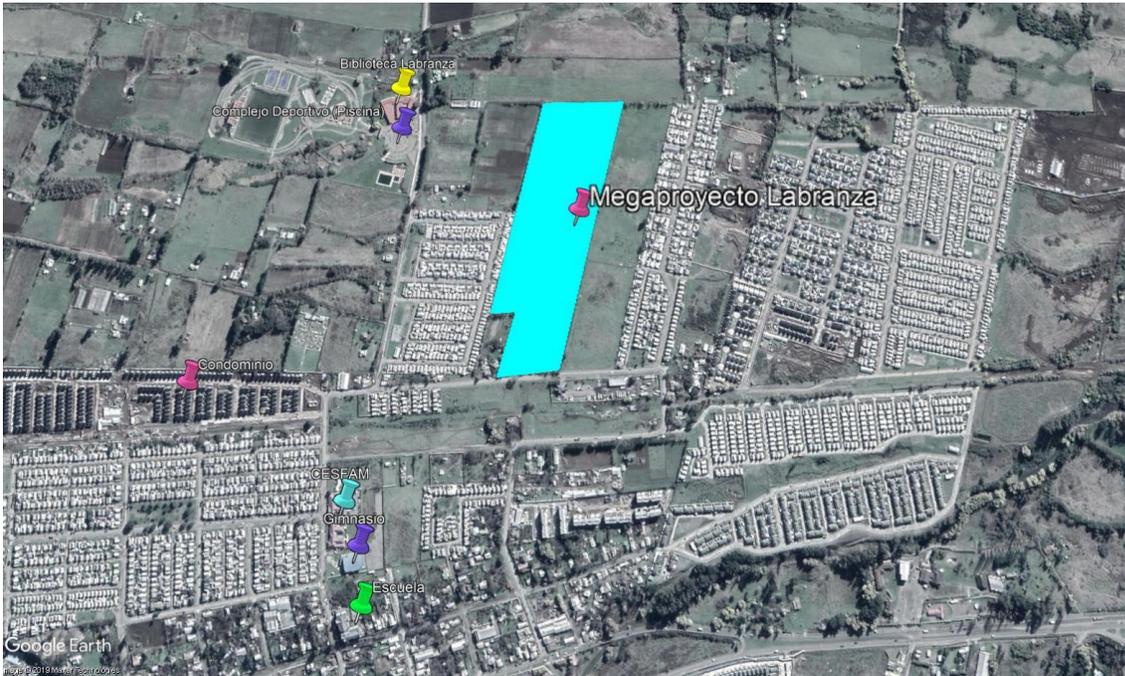


Ilustración 16. Ubicación edificios ancla en las cercanías del Megaproyecto Labranza

En las ilustraciones siguientes se tienen fotografías tomadas en la visita a terreno, a los edificios ancla más importantes.



Ilustración 17. Centro Comunitario, ubicado a unos 390 metros del proyecto.



Ilustración 18. Centro de Salud Familiar (CESFAM) de Labranza, ubicado a unos 630 metros del proyecto.



Ilustración 19. Gimnasio de Labranza, a unos 740 metros del proyecto.



Ilustración 20. Escuela General de Labranza, a unos 800 metros del proyecto.

Respecto a la posible existencia de fuentes de calor residual, en este proyecto sí se encontraron dos posibles fuentes de calor residual, las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de las empresas Aguas Araucanía y Aguas San Isidro. Si bien estas plantas se consideran aptas como fuentes de calor residual, sí se debe notar que se encuentran a una distancia no menor al proyecto, con la PTAS de Aguas Araucanía a unos 3,6 km del proyecto, mientras que la PTAS de Aguas San Isidro se encuentra a unos 2,7 km del proyecto en estudio.



Ilustración 21. Ubicación de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en relación a la ubicación del proyecto.

En relación a la accesibilidad al proyecto, se observa que el futuro conjunto se ubicará contiguo a vías que comunican directamente con el camino que une Labranza con Temuco, siguiendo la ruta celeste marcada en la Ilustración 22, camino además se pudo recorrer en la visita a terreno. Este hecho se considera un factor importante a favor de la accesibilidad al proyecto, pues permite comunicar el conjunto directamente con el centro de la comuna de Temuco.



Ilustración 22. Ubicación del proyecto respecto al acceso a vías importantes



En lo que se refiere a posibles ubicaciones de la central de generación térmicas, en las inmediaciones del proyecto se identifican grandes extensiones de terreno sin edificar, sin embargo, se desconoce si estos terrenos pueden ser utilizados para estos fines. Por esta razón, se consideran aptos para la ubicación de una central, las áreas subterráneas bajo las áreas verdes y de equipamiento indicadas de color verde y amarillo respectivamente, en la Ilustración 23.

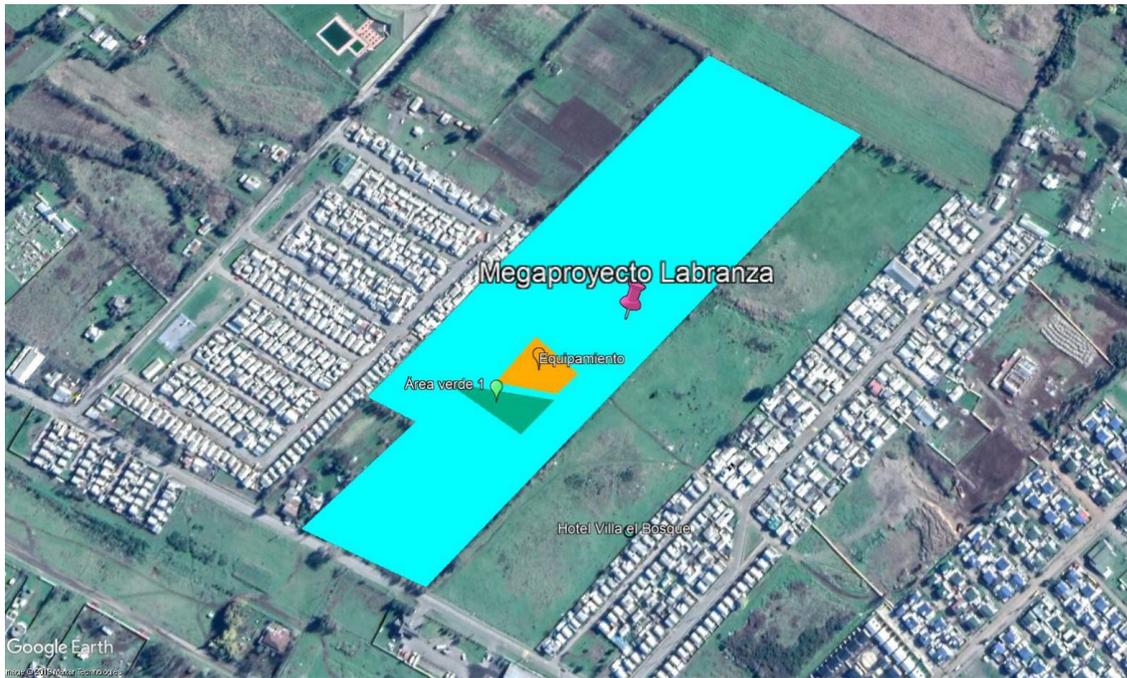


Ilustración 23. Ubicación de áreas verdes y de equipamiento en el Megaproyecto Labranza.



3.1.3. NUEVA COSTANERA

El proyecto Nueva Costanera se encuentra ubicado en la dirección Calle Las Quilas 1839 en la comuna de Temuco, al sur de ésta. En su diseño consta de 160 departamentos, diseñados bajo el Decreto Supremo N°19. En la Ilustración 24 se indica la ubicación del proyecto habitacional.

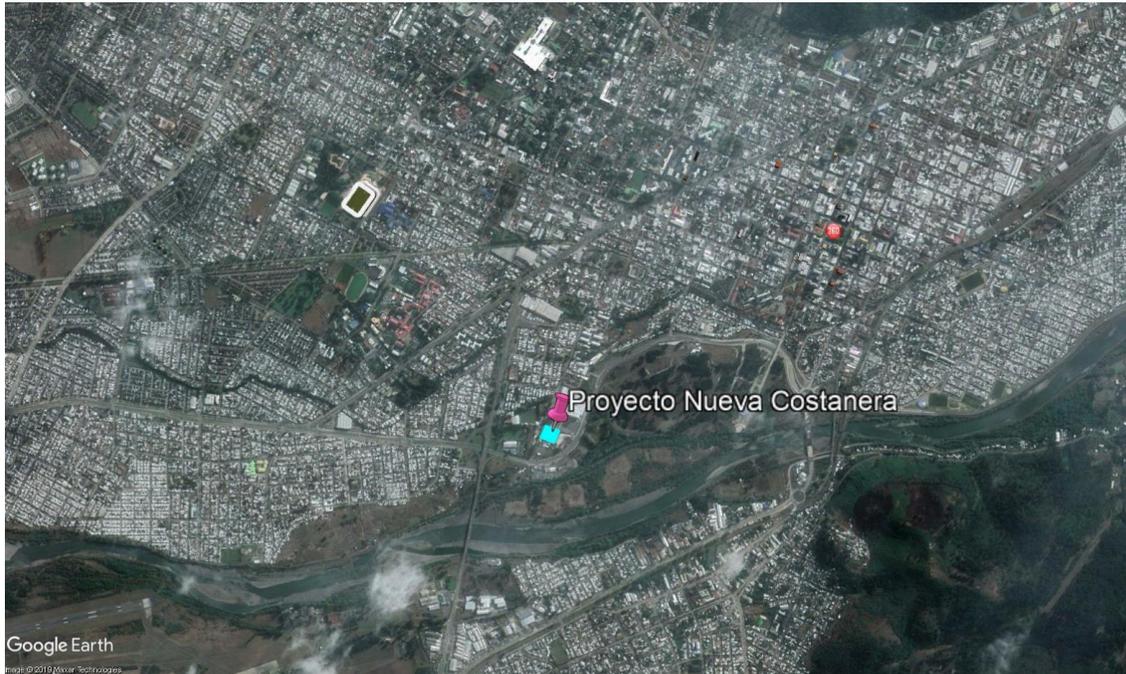


Ilustración 24. Ubicación proyecto Nueva Costanera

En la Ilustración 25 se tiene un extracto del plano de loteo del proyecto de Labranza.

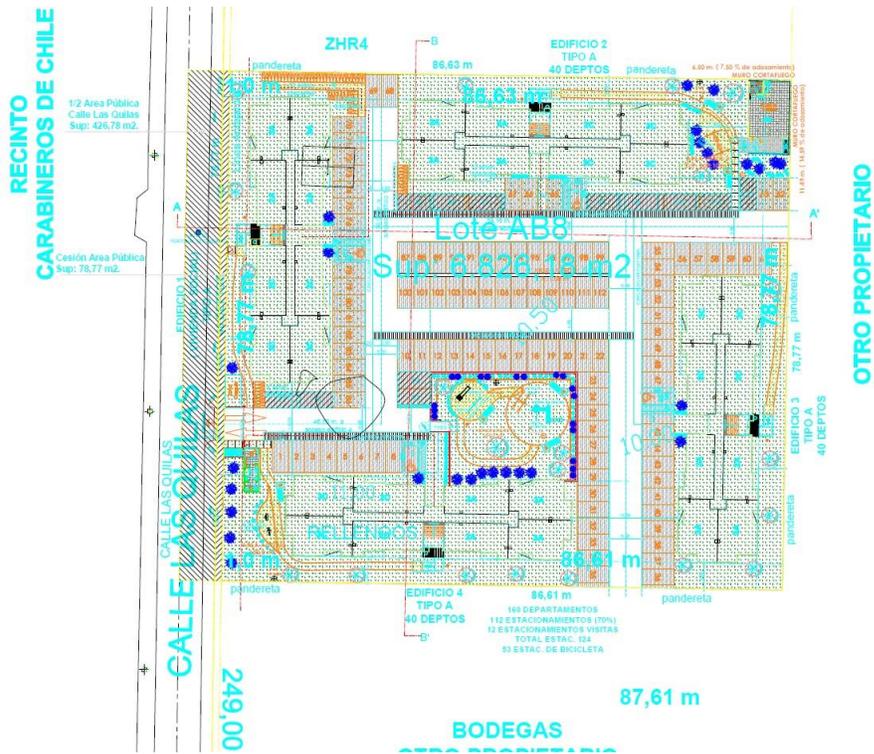


Ilustración 25. Plano loteo proyecto Nueva Costanera

En la Ilustración 26 se observa la ubicación de los únicos dos edificios ancla respecto del proyecto Nueva Costanera: el Mall Outlet Vivo y el Condominio Santa Beatriz.



Ilustración 26. Ubicación edificios ancla en las cercanías del proyecto Nueva Costanera



En las ilustraciones siguientes se tienen fotografías tomadas en la visita a terreno, al entorno del proyecto.



Ilustración 27. Mall Outlet Vivo Temuco, ubicado a unos 170 metros del proyecto Nueva Costanera



Ilustración 28. Condominio Santa Beatriz, ubicado a unos 100 metros del proyecto Nueva Costanera

En la visita a terreno se analizó también la posible existencia de fuentes de calor residual, sin embargo, en las inmediaciones del proyecto no se pudieron identificar instalaciones que pudiesen servir para este fin.

En relación a la accesibilidad al proyecto, se observa en la Ilustración 29 que el futuro conjunto se ubica en la calle Las Quilas, la cual conecta de forma casi directa con la avenida Caupolicán, la cual es una avenida principal dentro de la comuna de Temuco, en ese sentido se considera que la accesibilidad del proyecto es bastante buena.



Ilustración 29. Ubicación del proyecto respecto al acceso a vías importantes

En lo que se refiere a posibles ubicaciones de la central de generación térmicas, en las inmediaciones del proyecto se identifican grandes extensiones de terreno sin edificar, sin embargo, se desconoce si estos terrenos pueden ser utilizados para estos fines. Por esta razón, se consideran aptos para la ubicación de una central, las áreas subterráneas bajo las áreas verdes y de equipamiento indicadas en la Ilustración 30.



Ilustración 30. Ubicación de áreas verdes y de equipamiento en el proyecto Nueva Costanera



3.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ARQUITECTÓNICAS

Las especificaciones técnicas de los proyectos en estudio establecen que “*Los complejos de techumbres, muros perimetrales, pisos inferiores ventilados y superficie de ventana que conformen la envolvente de las viviendas deberán cumplir, según zona térmica en donde se emplace el proyecto, con las exigencias térmicas indicadas en el artículo 4.1.10 de la OGUC*”. Sin embargo, los proyectos en estudio constituyen proyectos de viviendas nuevas emplazadas en una comuna con un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) aprobado, por lo que las características de su envolvente deben regirse por dicho estándar. La Tabla 5 muestra una comparación entre los niveles máximos de transmitancia térmica según cada estándar, lo que impacta de manera que podría llegar a ser significativa, dependiendo del diseño.

Tabla 5. Comparación entre niveles máximos permitidos de transmitancia térmica según distintos estándares

	U máximos (W/m ² .K)				
	Techumbre	Muros	Pisos Ventilados	Puertas	Ventanas
OGUC	0,33	1,60	0,50	x	x
PDA	0,33	0,45	0,50	x	x
PDA E2 VN - VE	0,28	0,45	0,50	1,70	3,60

Por otro lado, en la Tabla 6 se especifican los valores de transmitancia térmica U, para cada proyecto, para la evaluación primaria de su demanda. Considerar que las tipologías de vivienda para cada proyecto, en términos de su materialidad sólo se diferencia entre casas y departamentos, siendo la distribución y tamaño de éstos el elemento diferenciador. Además, se debe considerar que el valor máximo de transmitancia térmica para pisos ventilados se consideró únicamente para aquellos proyectos en los que existían tipologías que contemplaban este tipo de piso. En este punto, se consideraron las especificaciones técnicas enviadas para cada proyecto para crear las soluciones constructivas dentro del software utilizado para las simulaciones, en el caso de que en las especificaciones no estuviese definida la solución constructiva se asumió la solución recomendada para lograr la transmitancia térmica exigida según el PDA para vivienda nueva.



Tabla 6. Niveles de transmitancia térmica utilizados en los modelos

Proyecto	Tipología	U Techumbre [W/m ² K]	U Muros [W/m ² /K]	U Pisos Ventilados [W/m ² K]	U Ventanas [W/m ² K]
Bicentenario	Casas	0,28	0,36	0,5	3,6
	Departamentos	0,28	0,42	0,5	3,6
Labranza	Casas	0,28	0,36	0,5	3,6
	Departamentos	0,28	0,42	0,5	3,6
Nueva Costanera	Departamentos	0,28	0,42	0,5	3,6

3.3. ANÁLISIS PROYECTOS

3.3.1. CÁLCULO DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN

Para el cálculo de demanda de los tres proyectos, se utilizó DesignBuilder, con las soluciones constructivas que definen los valores de transmitancia térmica establecidos en la Tabla 6. Las diferentes tipologías de departamentos y casas, para el modelo, varían dependiendo de su superficie, geometría, orientación, entre otros factores, por lo que en los resultados se muestran la demanda de calefacción específica por unidad de superficie.

Proyecto Bicentenario

En la Ilustración 31 se muestra el modelo realizado para el edificio de departamentos del proyecto Bicentenario, mientras que en el gráfico de la Ilustración 32 se tienen los resultados para demanda específica para los departamentos.

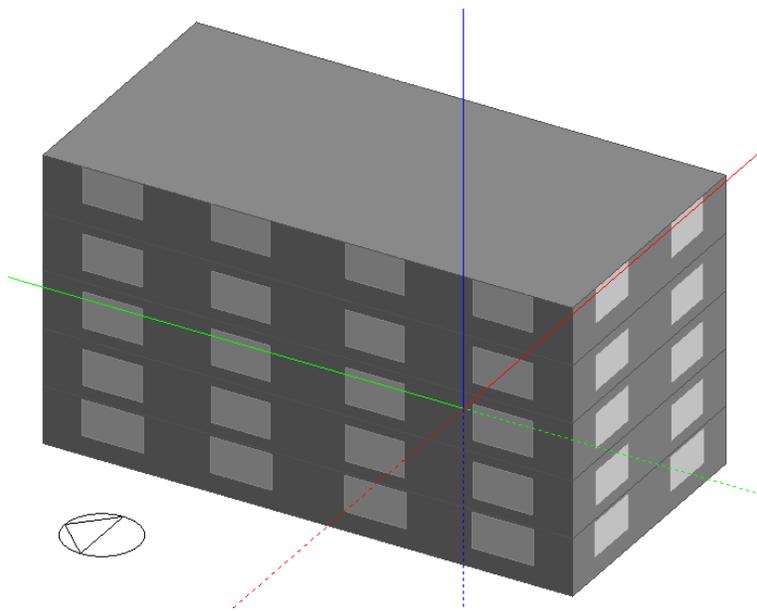


Ilustración 31. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Bicentenario

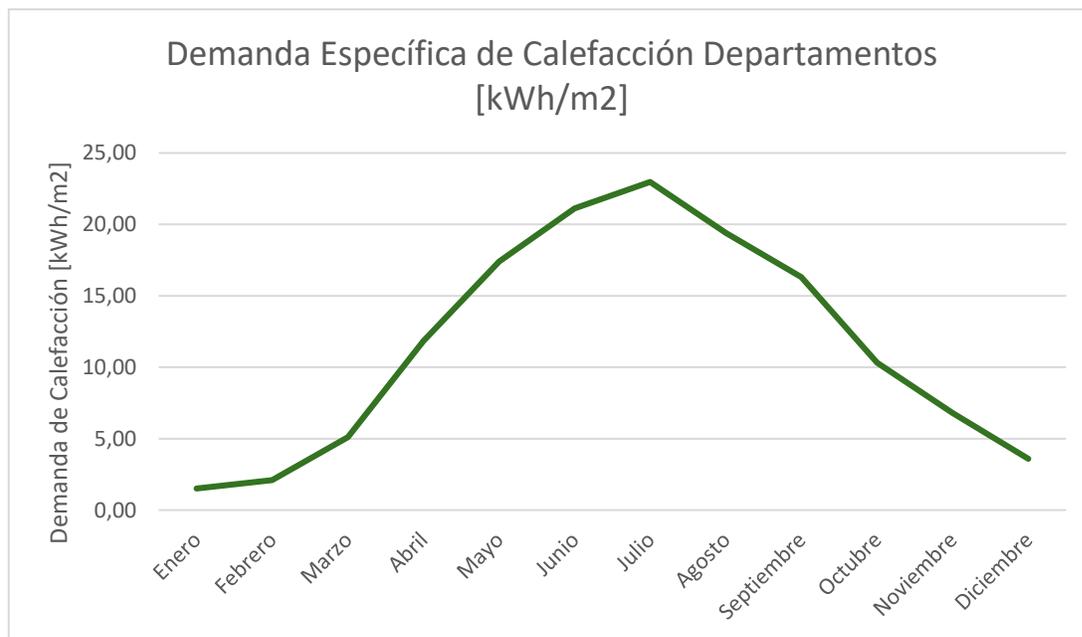


Ilustración 32. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Bicentenario

Por otro lado, en la Ilustración 33 se muestra el modelo de vivienda de dos pisos para el proyecto Bicentenario, mientras que en la Ilustración 34 se indican los resultados de demanda específica por unidad de superficie para las viviendas.

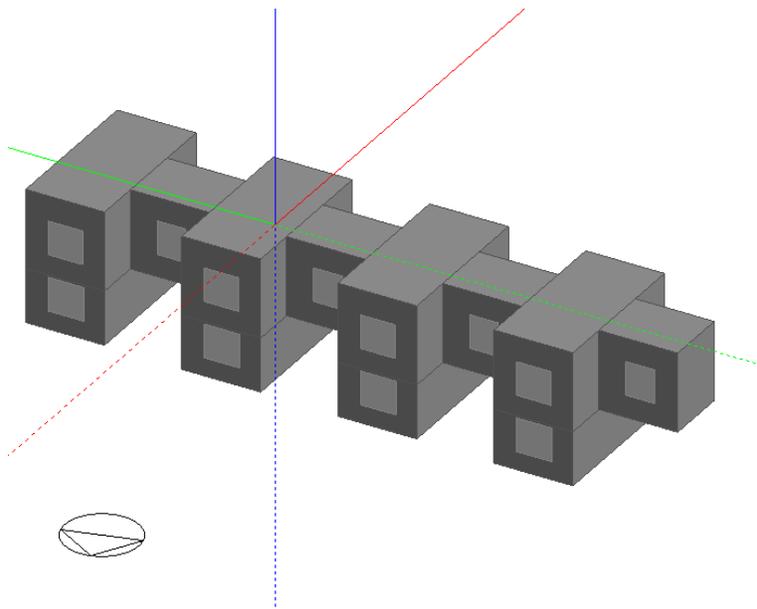


Ilustración 33. Modelo tipo de vivienda de dos pisos para proyecto Bicentenario

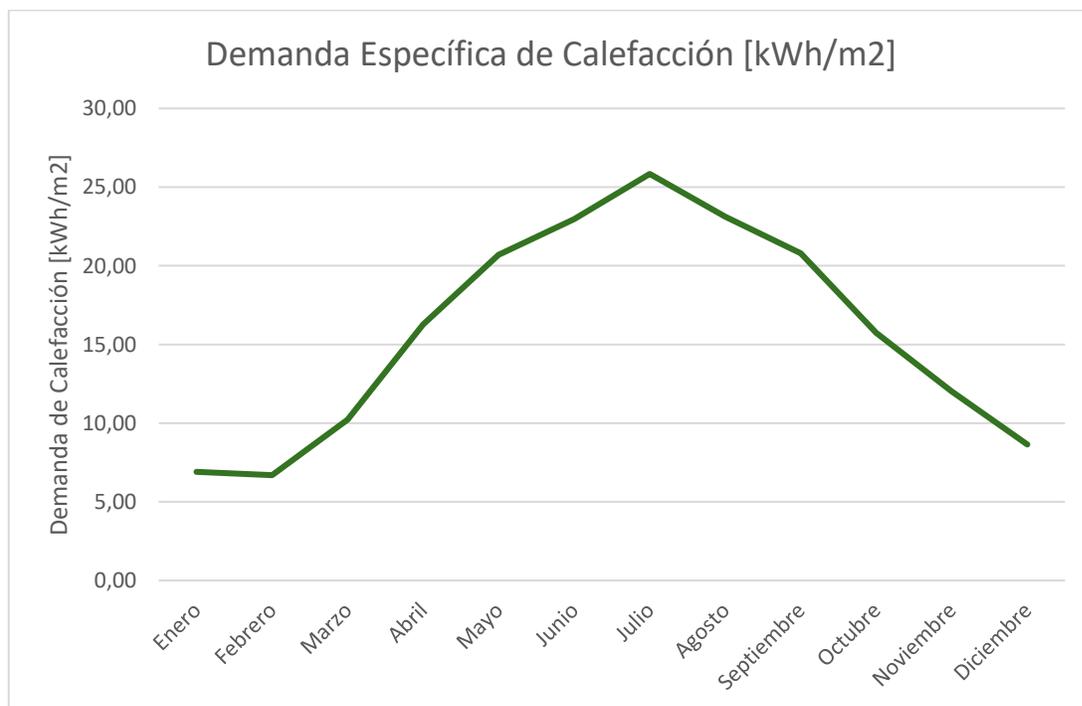


Ilustración 34. Demanda de calefacción específica para viviendas proyecto Bicentenario

Proyecto Labranza

En la Ilustración 35 se muestra el modelo realizado para el edificio de departamentos del proyecto Labranza, mientras que en el gráfico de la Ilustración 36 se tienen los resultados para demanda específica para los departamentos.

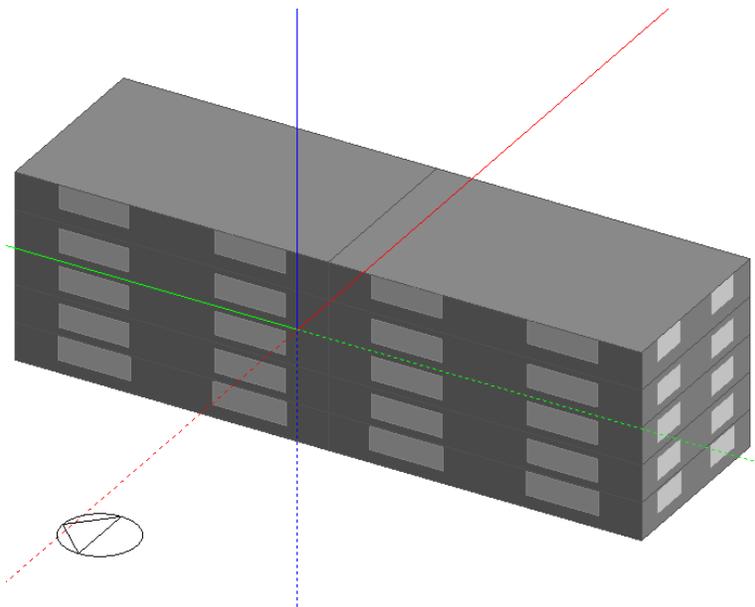


Ilustración 35. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Labranza

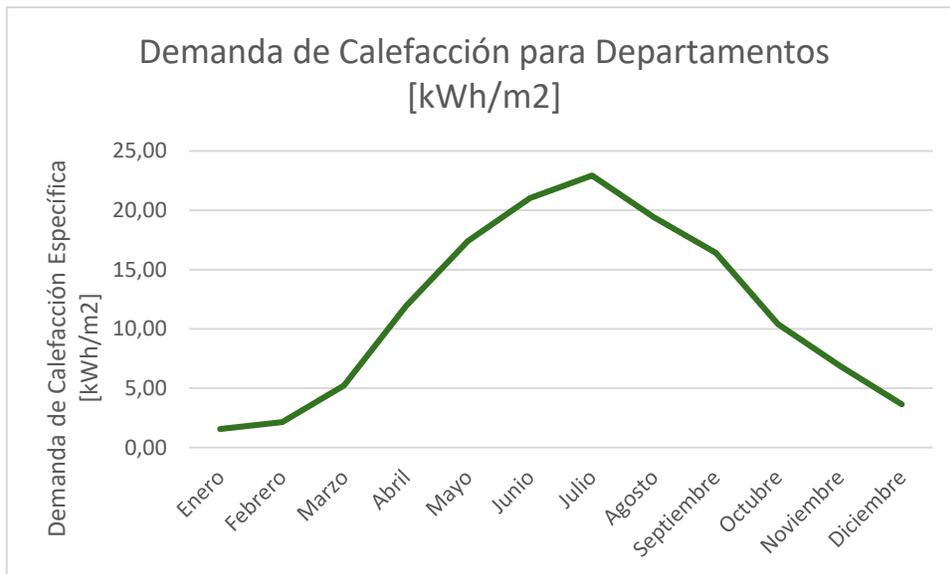


Ilustración 36. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Labranza

Por otro lado, en la Ilustración 37 se muestra el modelo de vivienda de dos pisos para el proyecto Labranza, mientras que en la Ilustración 38 se indican los resultados de demanda específica por unidad de superficie para las viviendas.

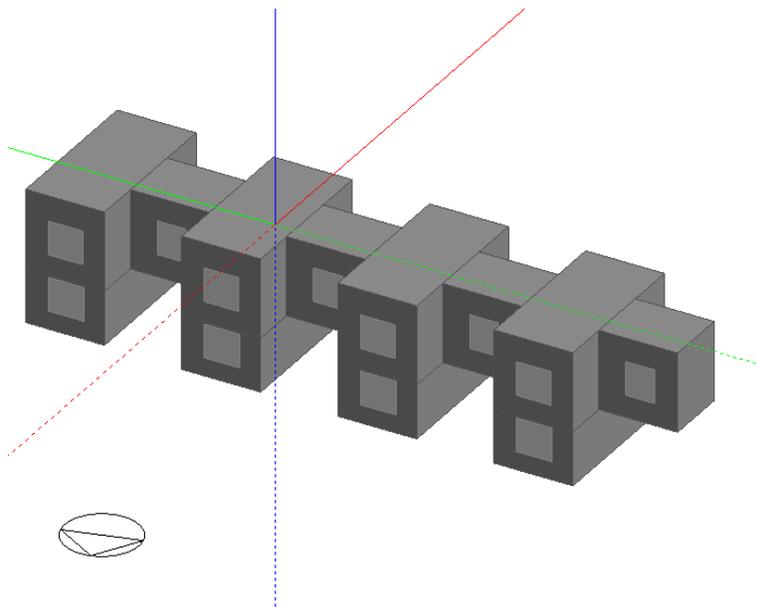


Ilustración 37. Modelo tipo de vivienda de dos pisos para proyecto Labranza

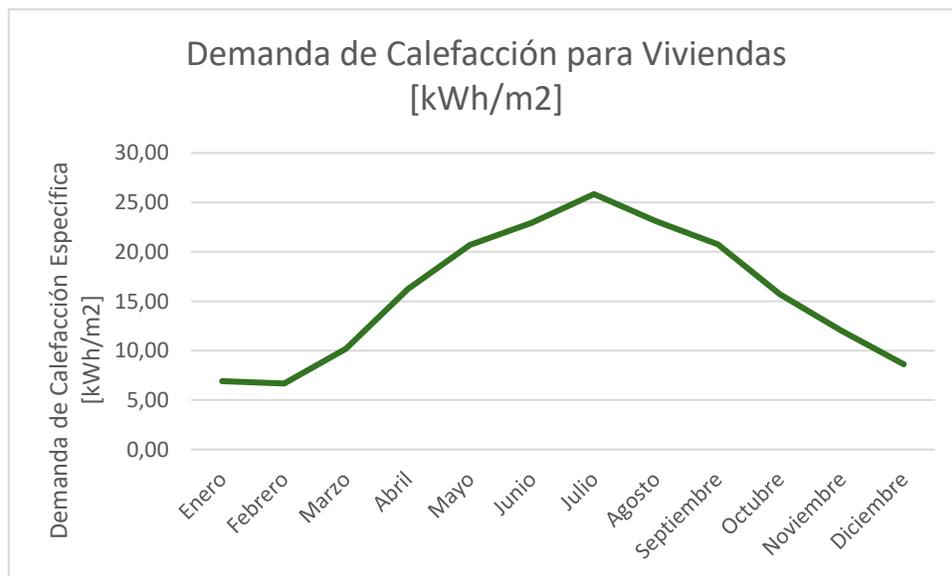


Ilustración 38. Demanda de calefacción específica para viviendas proyecto Labranza

Proyecto Nueva Costanera

En la Ilustración 39 se muestra el modelo realizado para el edificio de departamentos del proyecto Bicentenario, mientras que en el gráfico de la Ilustración 32 se tienen los resultados para demanda específica para los departamentos.

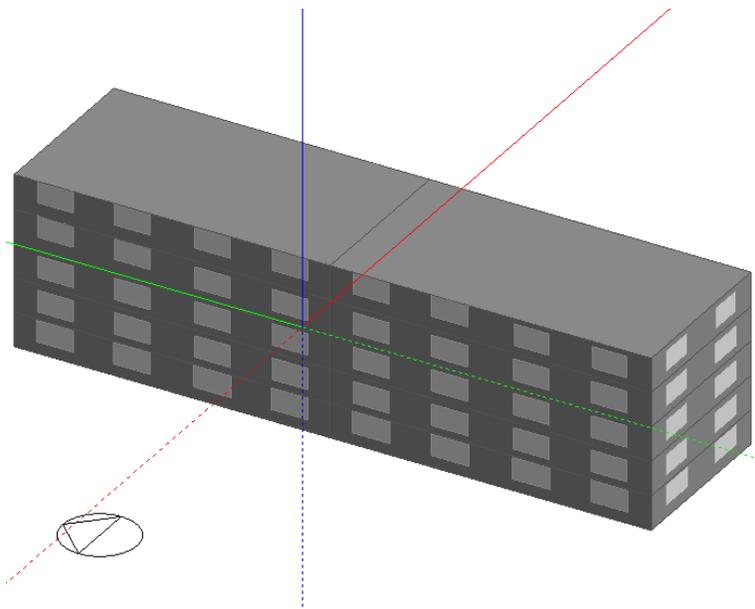


Ilustración 39. Modelo tipo de edificio de departamentos para proyecto Nueva Costanera

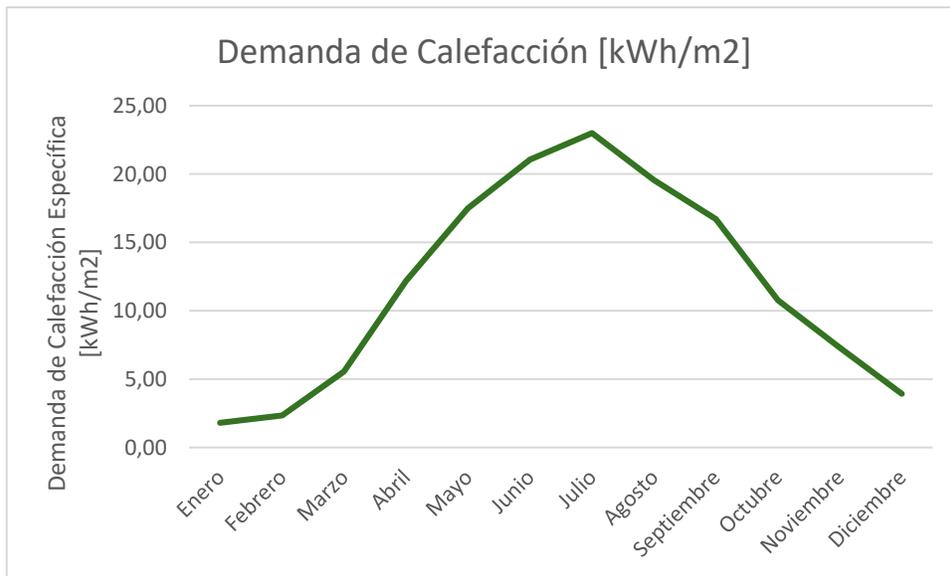


Ilustración 40. Demanda de calefacción específica para departamentos proyecto Nueva Costanera



Los resultados generales por proyecto se pueden ver en la Tabla 7 y en el gráfico de la Ilustración 41.

Tabla 7. Demanda total de calefacción por proyecto

Proyecto	Demanda de Calefacción [kWh/año]
Bicentenario	2.295.020
Labranza	4.976.252
Nueva Costanera	1.395.687

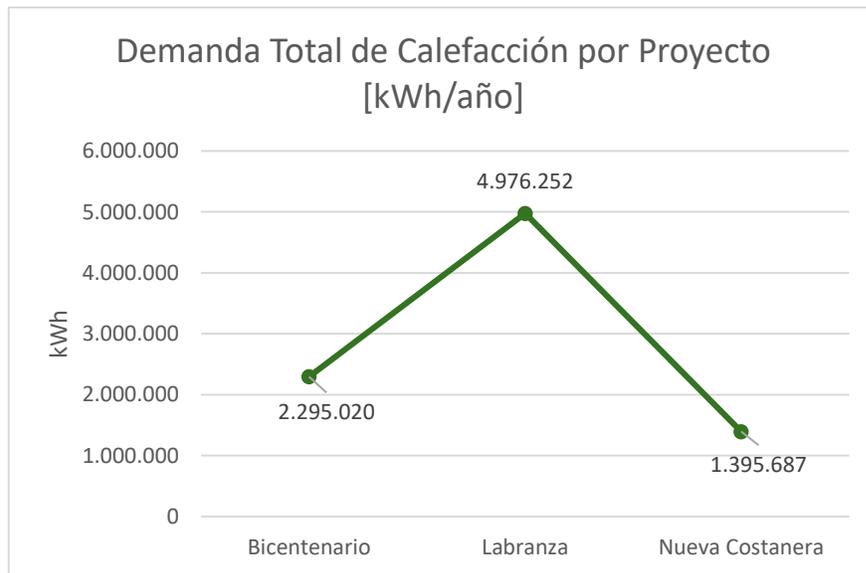


Ilustración 41. Demanda total de calefacción por proyecto

Por otro lado, la demanda específica total por proyecto se calcula como el cociente entre la demanda total de cada proyecto, en relación a su superficie total, independiente de la tipología de vivienda.

Finalmente, y a modo de resumen, en la tabla a continuación se adjuntan algunos otros parámetros comunes a todos los proyectos.

Tasa de Infiltración (ach)	Temperatura Aire Interior (°C)	Densidad
7	18	0,25

El Perfil de Ocupación de las Viviendas, también de acuerdo al Manual de Calificación de Viviendas, se contempló de Lunes a Viernes en base a este perfil horario:

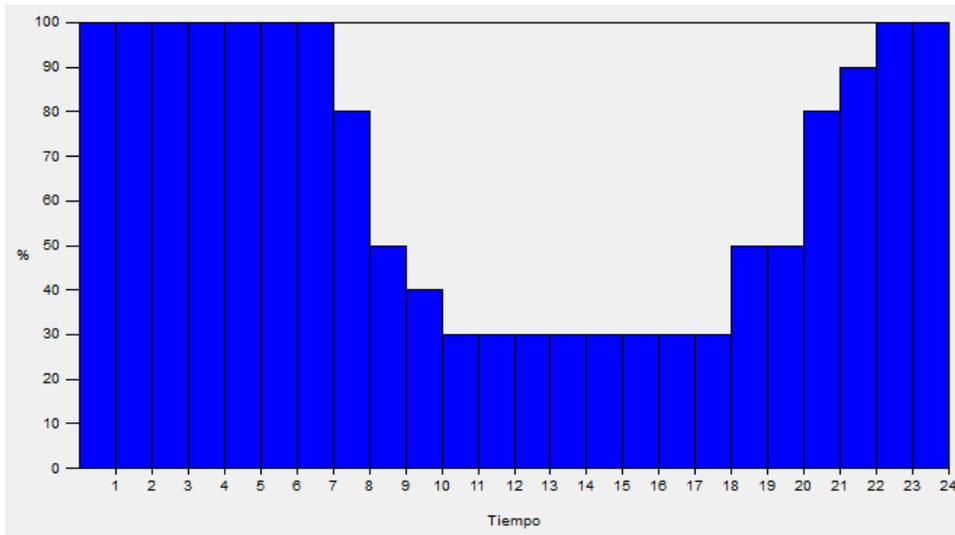


Ilustración 42. Perfil de ocupación de las viviendas, de Lunes a Viernes.

El perfil de Ocupación de las Viviendas para Sábado y Domingo se consideró 100%.

3.3.2. CÁLCULO DE DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Para el cálculo de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) se considera la temperatura del agua de red de Temuco, la cual se indica en el gráfico de la Ilustración 43.

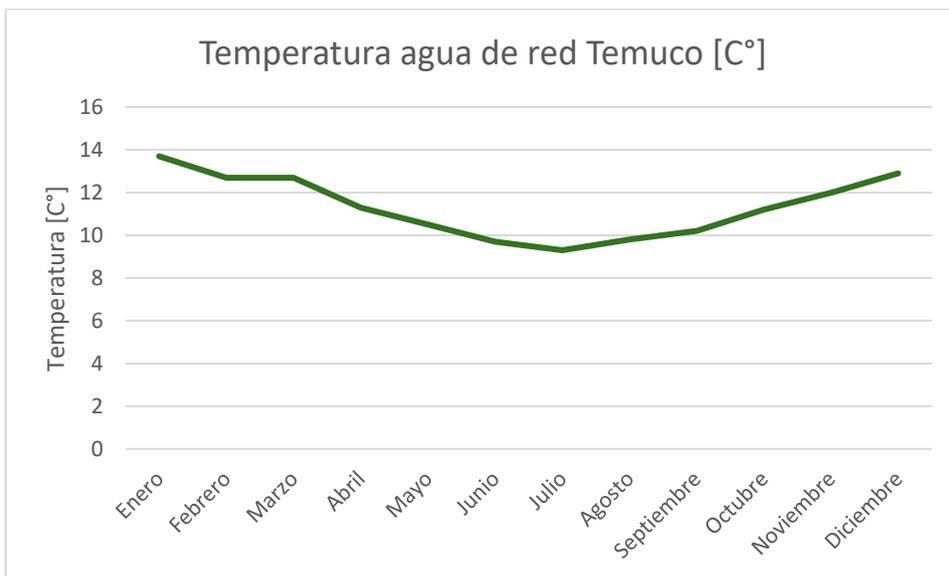


Ilustración 43. Temperatura de agua de red para Temuco



Se realizan los supuestos que se indican en la Tabla 8

Tabla 8. Supuestos realizados para el cálculo de demanda de ACS

	Valor	Unidad
Consumo p/p	40	<i>lts/día.p</i>
Personas p/plaza	0,837	<i>prs</i>
Días de uso por semana	7	
T. de Preparación	45	<i>°C</i>
Densidad	1	<i>kg/lts</i>
Cp	4,186	<i>kJ/kg.°K</i>

El cálculo entrega los resultados indicados, para los tres proyectos, indicados en el gráfico de la Ilustración 44.

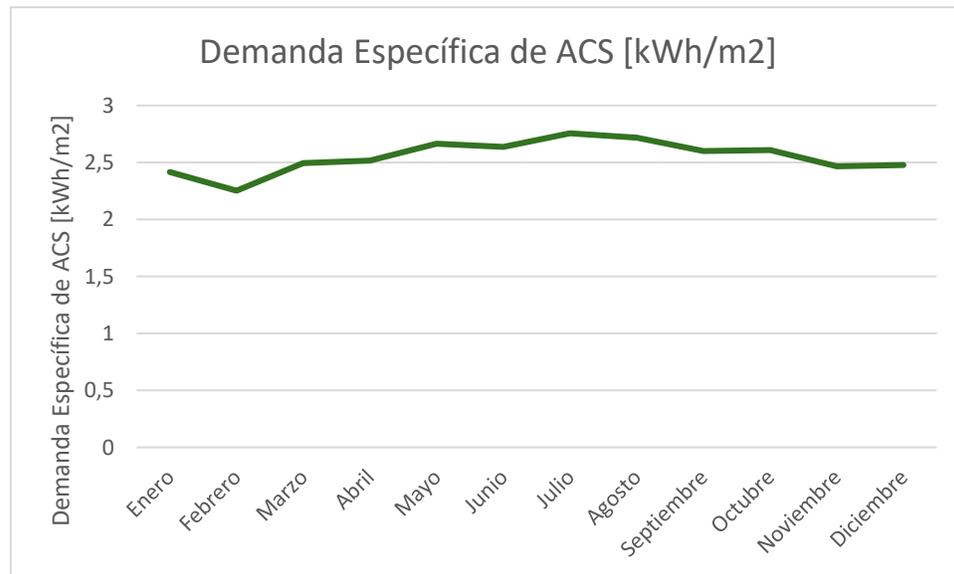


Ilustración 44. Demanda Específica de ACS para Temuco.

Como se observa de la ilustración anterior, se indica el cálculo de demanda de ACS por metro cuadrado, de modo de utilizar este indicador para ponderarlo por la superficie de cada proyecto. De esta forma, se pueden obtener los resultados por proyecto que se visualizan en la Ilustración 45.

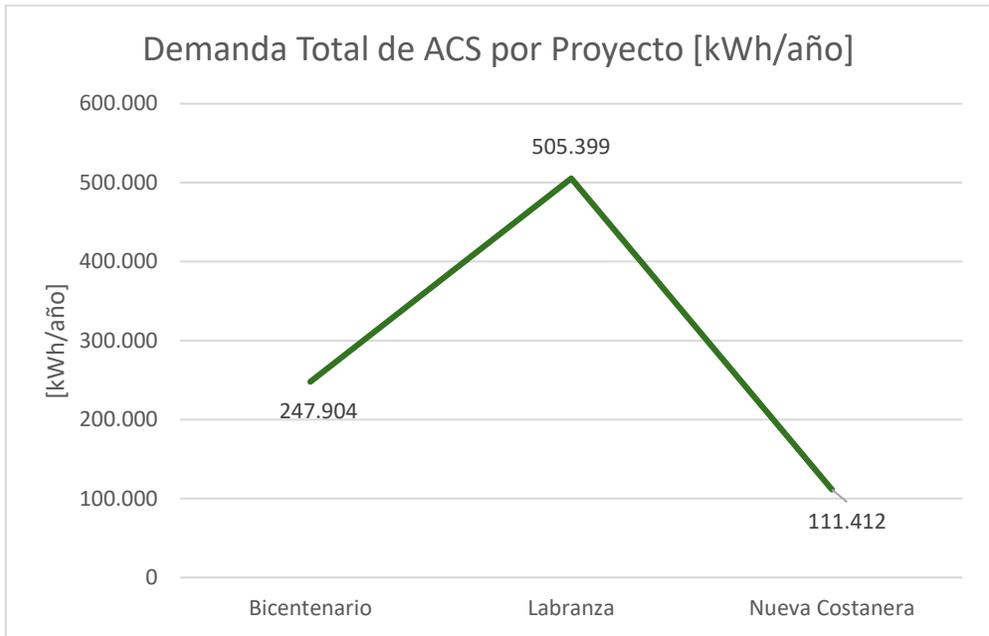


Ilustración 45. Demanda Total de ACS por Proyecto

3.3.3. CÁLCULO DE EMISIONES

Para realizar el cálculo de emisiones de cada proyecto se consideraron los supuestos que se indican en la Tabla 9, además se consideran los equipos y combustibles descritos en la Tabla 10, para todos los proyectos en estudio.

Tabla 9. Consideraciones cálculo emisiones

Combustible	Leña Húmeda
Tecnología	Nueva Tecnología
Rendimiento Equipo	0,704
Humedad	33%
Madera	Eucalipto



Tabla 10. Equipos y Combustibles asociados a cada tipo de vivienda

	Casas	Departamentos
Calefacción	Estufas a Leña	Estufas a Parafina
ACS	GLP ¹	GLP

Para la consideración de los factores de emisión, se toman los considerados en el estudio de SICAM Ingeniería del año 2014, indicados en las ilustraciones siguientes.

Tabla 28. F.E. de MP10 para combustión residencial de leña (g MP10/kg neto de leña).

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	7,5 ¹	13,9 ¹	33,8 ²
Combustión lenta S/T	6,2 ¹	11,8 ¹	45,8 ³
Combustión lenta C/T	5,2 ¹	11,0 ¹	29,5 ⁴
Salamandra	12,7 ¹	28,5 ¹	-
Chimenea	10,1 ⁵	28,5 ⁶	-
Calefactor certificado	2,5 ⁷	11,0 ⁸	11,0 ⁸
Nueva Tecnología	2,1 ⁹	5,5 ¹⁰	8,9 ¹⁰
Calefactor a pellet	1,9 ¹¹	-	-

SERVICIOS INTEGRALES DE CALIDAD AMBIENTAL LTDA. – SICAM INGENIERIA
 Prieto Sur 965, Temuco - Chile
 Email: sdavila@sicam.cl - Teléfono: (045) 2668119

Ilustración 46. Factores de emisión para MP10

¹ Gas Licuado de Petróleo



Tabla 29. Factores de emisión de MP2,5¹ para combustión residencial de leña (g MP2,5/kg neto de leña).

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	7,0	13,0	31,5
Combustión lenta S/T	5,8	11,0	42,6
Combustión lenta C/T	4,9	10,2	27,5
Salamandra	11,8	34,1	-
Chimenea	9,2	26,6	-
Calefactor certificado	2,3	10,2	10,2
Nueva Tecnología	2,0	5,1	8,2
Calefactor a pellet	1,8	-	-

¹ Se considera que el 93,1% de las emisiones de MP10 corresponden a MP2,5.
Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014.

Ilustración 47. Factores de emisión para MP2,5

Respecto a los factores de emisión para las emisiones de CO₂, se consideraron los indicados en la Ilustración 48, para distintos combustibles. Esta información fue obtenida desde el Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, Serie 1990-2013, del 12 de mayo de 2017.

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	69.300	3	0,6
Queroseno para motor a reacción	71.500	3	0,6
Otro queroseno	71.900	3	0,6
Gas/Diésel oil	74.100	3	0,6
Fuelóleo residual	77.400	3	0,6
Gases licuados de petróleo	63.100	1	0,1
Nafta	73.300	3	0,6
Alquitrán	80.700	3	0,6
Gas de refinería	57.600	1	0,1
Otro carbón bituminoso	94.600	1	1,5
Coque para horno de coque y coque de lignito	107.000	1	1,5
Gas de fábrica de gas	44.400	1	0,1
Gas de alto horno	260.000	1	0,1
Gas natural	56.100	1	0,1
Madera y desechos de madera	112.000	30	4,0
Biogás	54.600	1	0,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2)

Ilustración 48. Factores de emisión para CO₂. Fuente: Factores de Emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.



Así, para cada proyecto, la información considerada para el cálculo de las emisiones puede ser resumida en las siguientes tablas, con una actividad de unas 8 horas de uso de la calefacción. Se observa en las tablas que se tienen factores de kg de contaminante por kWh de demanda de energía. Es importante notar que esto es efectivamente por unidad de **demanda** de energía y no de **consumo** de energía. Dado que los factores de paso indicados en las ilustraciones anteriores están dados por unidad de **consumo** de energía, se consideró entonces el rendimiento del equipo supuesto, indicado en la Tabla 9. De esta forma, este factor se pondera por la demanda específica de cada tipología de vivienda y por la superficie total de la misma, para calcular las emisiones totales del proyecto.

Tabla 11. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Bicentenario

Tipología	Demanda Específica Calefacción [kWh/m ²]	Demanda Específica ACS [kWh/m ²]	GLP	Parafina	Leña	
			kg CO ₂ /kWh dda	kg CO ₂ /kWh dda	kg MP10/kWh dda	kg MP2,5/kWh dda
Edif A1	138,40	25,17	0,31219604	0,334083202	-	-
Edif A2	138,40	25,17	0,31219604	0,334083202	-	-
Edif B	138,40	25,17	0,31219604	0,334083202	-	-
VIV E Ext	189,92	25,17	0,31219604	-	0,000646808	0,000679148
VIV C MR	239,99	25,17	0,31219604	-	0,000646808	0,000679148

Tabla 12. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Labranza

Tipología	Demanda Específica Calefacción [kWh/m ²]	Demanda Específica ACS [kWh/m ²]	GLP	Parafina	Leña	
			kg CO ₂ /kWh dda			
Colectiva	139,00	25,17	0,31219604	0,334083202	-	-
Bloque	189,73	25,17	0,31219604	-	0,000646808	0,000679148



Tabla 13. Valores considerados para cálculos de emisiones proyecto Costanera

Tipología	Demanda Específica Calefacción [kWh/m ²]	Demanda Específica ACS [kWh/m ²]	GLP	Parafina	Leña	
			kg CO ₂ /kWh dda			
Colectiva	141,71	25,17	0,31219604	0,334083202	-	-

De esta forma, los resultados para el cálculo de emisiones se indican en la Tabla 14 y en el gráfico de la Ilustración 49.

Tabla 14. Resultados totales emisiones por proyecto

	Bicentenario	Labranza	Nueva Costanera
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	509.741	376.482	543.670
MP _{2,5} [kg MP _{2,5} /año]	2.160	10.343	0
MP ₁₀ [kg MP ₁₀ /año]	2.320	11.155	0

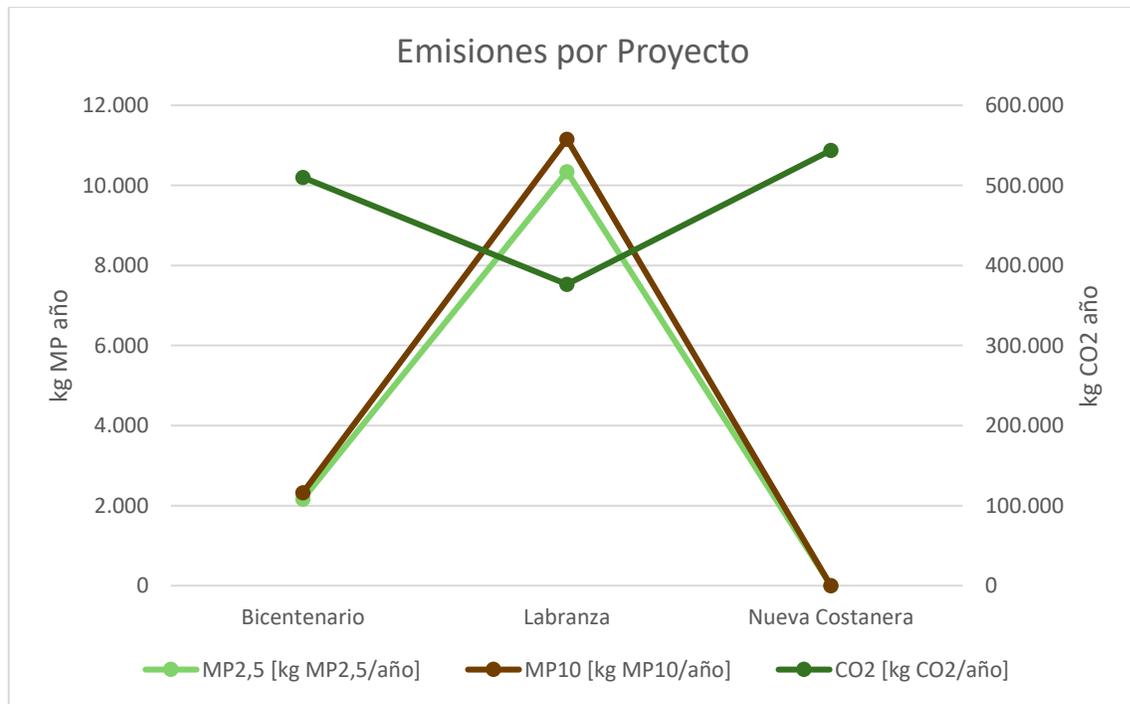


Ilustración 49. Emisiones por Proyecto



3.4. RESUMEN ANÁLISIS

3.4.1. BICENTENARIO I Y II

Bicentenario I y II

Ubicación	Capernaum 480
Tipología Viviendas	Casas y Departamentos
Número de Viviendas	75 Casas - 160 Departamentos
Superficie de Viviendas	Tipología A1: 56,59 m2. Cantidad: 80 Tipología A2: 56,59 m2 Cantidad: 60 Tipología B: 68,03 m2 Cantidad: 20 Tipología C: 59,57 m2 Cantidad: 2 Tipología E1: 59,46 m2 Cantidad: 73
Decreto Supremo	DS 49
Demanda Total	Proyecto Total 2.295 MWh/año Departamentos: 1.448 MWh/año Viviendas: 847 MWh/año
Demanda Específica	Proyecto Total 175,49 kWh/m2 Departamentos: 163,57 kWh/m2 Viviendas: 215,19 kWh/m2
Emisiones CO2	Proyecto total: 509.741 kg Departamentos: 478.903 kg Viviendas: 30.838 kg
Emisiones PM2,5	Proyecto total: 484 kg Viviendas Bloque: 484 kg Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.
Emisiones PM10	Proyecto total: 508 kg Viviendas Bloque: 508 kg Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.



Consumidores Ancla

En las inmediaciones del proyecto se identifican aproximadamente 9 edificios ancla de importancia. Entre éstos se encuentran el Colegio Santa Cruz, la sede Temuco del instituto INACAP, un jardín infantil y unos 3 condominios ya construidos con demandas que resultan destacables. Se simula de forma aproximada la demanda de los edificios ancla, representando, entre ellos todos ellos una demanda de 6,07 GWh al año entre calefacción y demanda de ACS. Estos edificios se encuentran, en promedio, a 305 metros de distancia del proyecto en cuestión.

Fuentes de calor residual

Con la información disponible no se identificaron fuentes de calor residual

Ubicación de la Central: Accesibilidad

Se identifica que si bien existen terrenos en las inmediaciones del proyecto que parecen no estar ocupados, éstos no necesariamente son públicos, por lo que, a priori, se contempla con un sector de posible emplazamiento el área subterránea bajo el área verde propia del proyecto inmobiliario.



3.4.2. MEGAPROYECTO LABRANZA

Megaproyecto Labranza

Ubicación	El Bosque N° 691, Labranza
Tipología Viviendas	Casas y Departamentos
Número de Viviendas	382 Casas - 80 Departamentos
Superficie de Viviendas	Tipología A1: 56,24 m2. Cantidad: 20 Tipología A2: 57,82 m2. Cantidad: 20 Tipología B1: 56,49 m2. Cantidad: 20 Tipología B2: 58,07 m2. Cantidad: 20 Tipología viv bloque: 64,2 m2. Cantidad: 382
Decreto Supremo	DS 49
Demanda Total	Proyecto: 4.976 MWh/año Viviendas Bloque: 4.314 MWh/año Departamentos: 661 MWh/año
Demanda Específica	Proyecto total: 206,42 kWh/m2 Viviendas Bloque: 214,19 kWh/m2 Departamentos: 164,17 kWh/m2
Emisiones CO2	Proyecto total: 376.482 kg Viviendas Bloque: 157.784 kg Departamentos: 218.699 kg
Emisiones PM2,5	Proyecto total: 2.464 kg/año Viviendas Bloque: 2.464 kg/año Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.
Emisiones PM10	Proyecto total: 2.587 kg/año Viviendas Bloque: 2.587 kg/año Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.



Consumidores Ancla

En las inmediaciones del proyecto se identifican aproximadamente 6 edificios ancla de importancia. Entre éstos se encuentran el Centro Comunitario de Labranza, que contempla una biblioteca y un complejo deportivo. Además, hacia el sur del proyecto existe un Centro de Salud Familiar, la Escuela de Labranza y el Gimnasio. Además, a unos 870 metros de distancia se sitúa un condominio de unas 270 casas, las que podrían convertirse en potenciales clientes. Se simula de forma aproximada la demanda de los edificios ancla, representando, entre ellos todos ellos una demanda de 4,52 GWh al año entre calefacción y demanda de ACS. Estos edificios se encuentran, en promedio, a 633 metros de distancia del proyecto en cuestión.

Fuentes de calor residual

Se identifican fuentes de calor residual en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, sin embargo se ubican a gran distancia. Hacia el sur oeste existe una planta a unos 2,7 km, mientras que hacia el este se encuentra la segunda planta, a 3,7 km de distancia. Por esta razón, no resulta viable considerarlas como fuentes de calor residual utilizables en el proyecto.

Ubicación de la Central: Accesibilidad

Se identifica que si bien existen terrenos en las inmediaciones del proyecto que parecen no estar ocupados, éstos no necesariamente son públicos, por lo que, a priori, se contempla como un sector de posible emplazamiento el área subterránea bajo el área verde propia del proyecto inmobiliario. Además el sector de Equipamiento se podría utilizar para estos fines.



3.4.3. NUEVA COSTANERA

Nueva Costanera

Ubicación	Calle Las Quilas 1839, Temuco.
Tipología Viviendas	Departamentos
Número de Viviendas	160 Departamentos
Superficie de Viviendas	Departamentos: 61,55 m ² (estimada). Cant: 160
Decreto Supremo	DS 19
Demanda Total	1.396 MWh/año
Demanda Específica	141,71 kWh/m ²
Emisiones CO₂	543.670 kg
Emisiones PM_{2,5}	Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.
Emisiones PM₁₀	Departamentos: Se considera que departamentos no consumen leña.
Consumidores Ancla	En las inmediaciones del proyecto se identifican únicamente 2 edificios ancla de importancia: El Mall Vivo de Temuco, a 200 metros de distancia y el Condominio Santa Beatriz, a 90 metros. Se simula de forma aproximada la demanda de los edificios ancla, representando, entre los dos una demanda de 323 MWh al año entre calefacción y demanda de ACS.
Fuentes de calor residual	No se identifican fuentes de calor residual en las inmediaciones del proyecto. A 280 m. se encuentra el río Cautín, en el caso que se considere una central geotérmica.
Ubicación de la Central: Accesibilidad	Se identifica que si bien existen terrenos en las inmediaciones del proyecto que parecen no estar ocupados, éstos no necesariamente son públicos, por lo que, a priori, se contempla como un sector de posible emplazamiento el área subterránea bajo el área verde propia del proyecto inmobiliario. Además, existe el área de Equipamiento que podría utilizarse para estos fines.



4. PROPUESTA SELECCIÓN DE PROYECTO

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Como se concluyó en el capítulo anterior, se propone que el proyecto elegido para el diseño de un proyecto de calefacción distrital sea el del conjunto habitacional de Labranza. Sus características generales se listan en la Tabla 74.

Tabla 15. Características Generales proyecto Labranza.

Nombre	Megaproyecto Labranza
Empresa	LUIS SAEZ
Programa	DS 49
Cantidad de Viviendas	382 casas - 120 departamentos
Tipo de Vivienda	Casas y Departamentos
Dirección	El Bosque N° 691, Labranza
Fecha Permiso	Permiso de Edificación N° 659 de Fecha 04-04-2019
Etapas PDA	2da Etapa PDA vivienda Nueva y Existente
Estado	En Evaluación

El proyecto cuenta además con 20 macrolotes, donde el macrolote T es el que concentra la mayor cantidad de viviendas pues en éste se encuentran las torres de edificios.

Además, en la Ilustración 82 se observa la cantidad de viviendas por macrolote, mientras que en la Ilustración 83 se tiene la superficie construida.

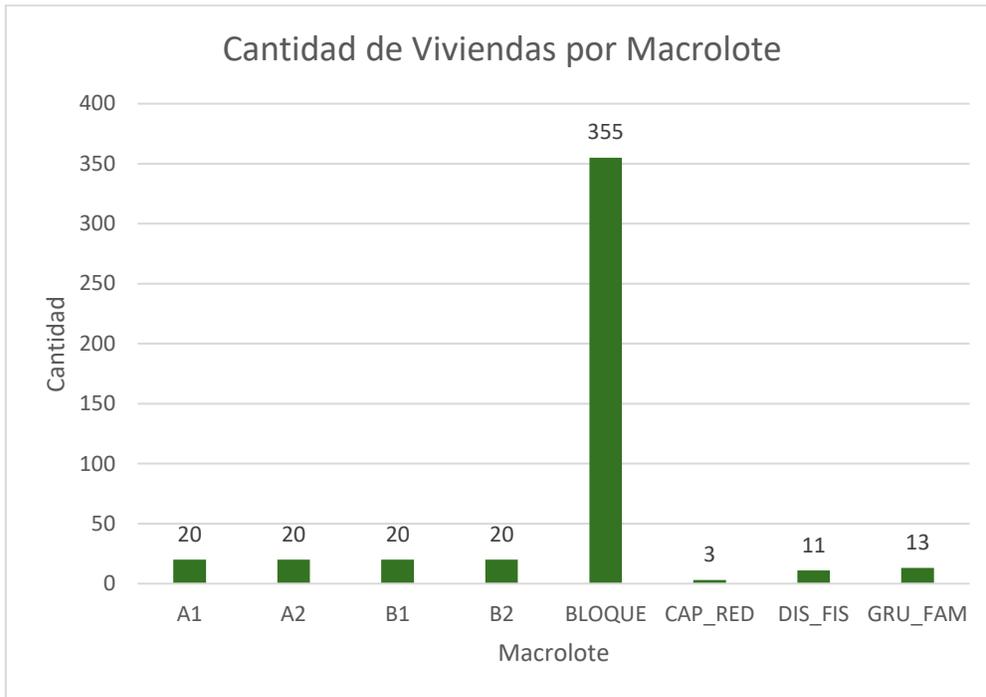


Ilustración 50. Cantidad de Viviendas por Macrolote

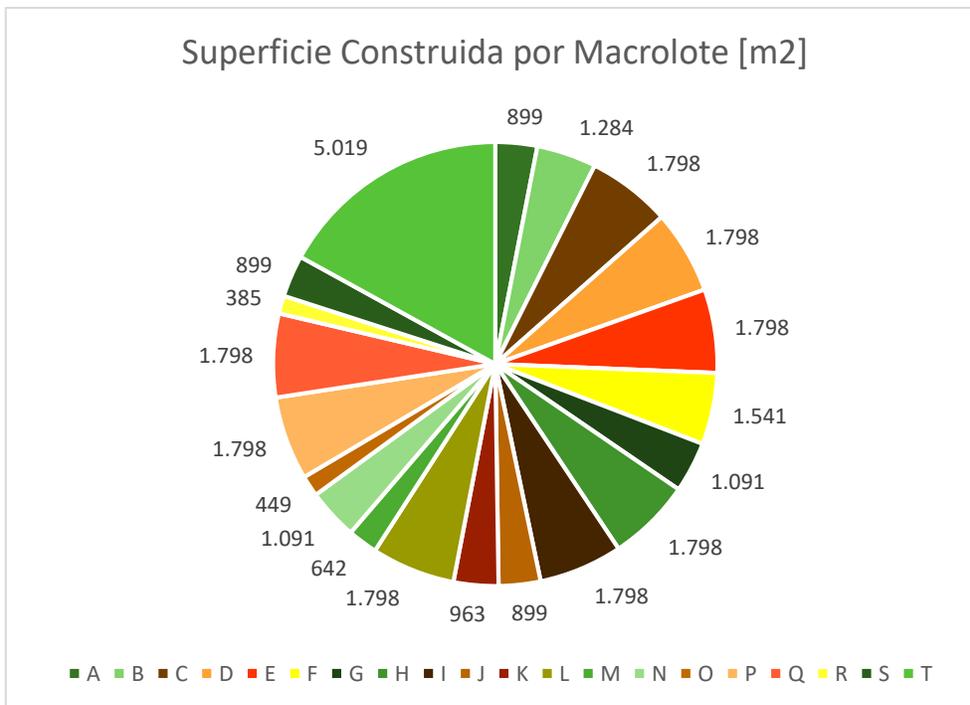


Ilustración 51. Superficie construida por Macrolote



4.2. CARACTERIZACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA

Para la caracterización de su demanda de calefacción, se realizó un modelo más exacto geoméricamente que el generado para la etapa anterior, indicado en la Ilustración 52.

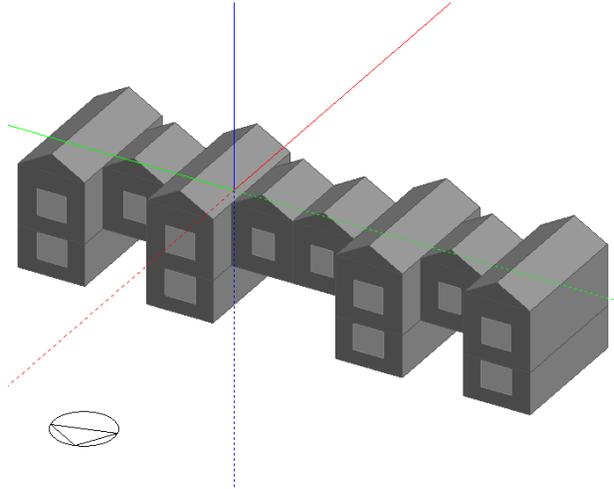


Ilustración 52. Modelo final de demanda de proyecto Labranza.

Para una caracterización más exacta de la demanda de calefacción de las viviendas tipo bloque del proyecto de Labranza, se realizaron dos modelos. Esto se hizo pues en las especificaciones técnicas (EETT) del proyecto existen elementos con una solución constructiva no definida, por lo tanto, no se puede calcular su transmitancia térmica. Ahora, si bien estos elementos existen, son menores, como puertas y cielos. Los dos modelos que se realizaron difieren en las características térmicas dadas a estos elementos indefinidos desde las EETT. Uno de los modelos define características definidas según OGUC, mientras que el otro asigna características según PDA Etapa 2 Vivienda Nueva. Los resultados de estos modelos se indican en el gráfico de la Ilustración 53.

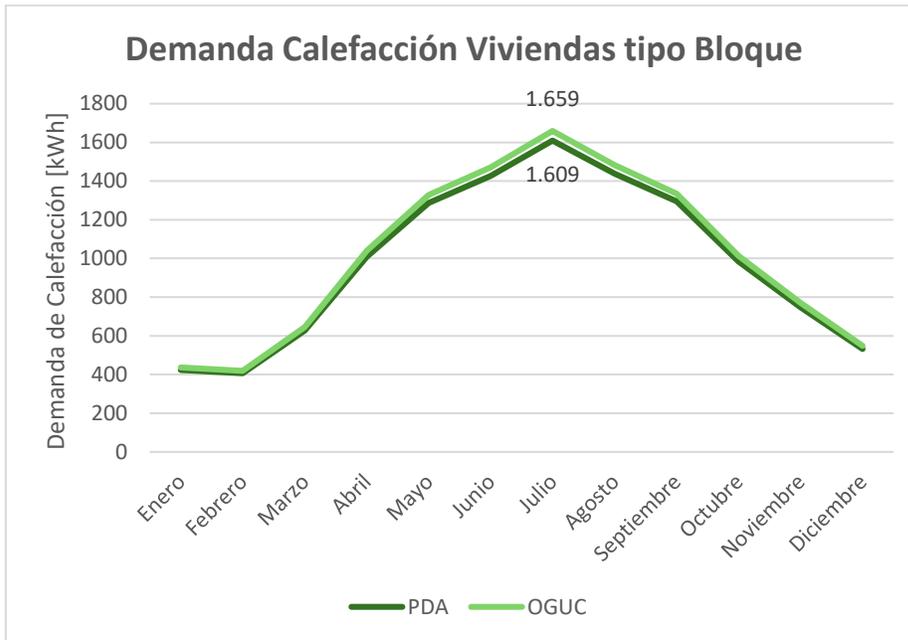


Ilustración 53. Demanda de Calefacción Viviendas Tipo Bloque

Respecto a la demanda de calefacción por departamentos, se realizó la misma comparación entre estándares, indicando los resultados en el gráfico de la Ilustración 54.

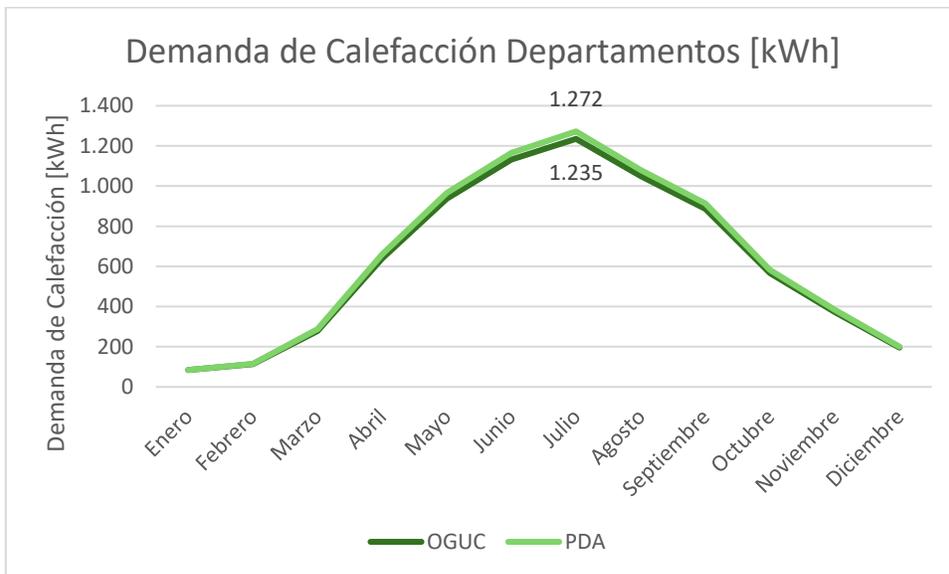


Ilustración 54. Demanda de Calefacción Departamentos.

Se puede observar de los gráficos de las ilustraciones anteriores que las diferencias en demandas para los dos modelos son menores, aún cuando las exigencias en cuanto a transmitancia son mayores para el PDA que para la OGUC. Esto sucede debido a que la mayoría de los elementos sí se encontraban definidos en términos de transmitancia, por lo tanto los que marcaron la diferencia fueron elementos menores.



Respecto a la demanda por macrolotes, se observa claramente que el macrolote T, que es el que concentra los departamentos posee la mayor demanda de calefacción, como se puede notar en el gráfico de la Ilustración 55.

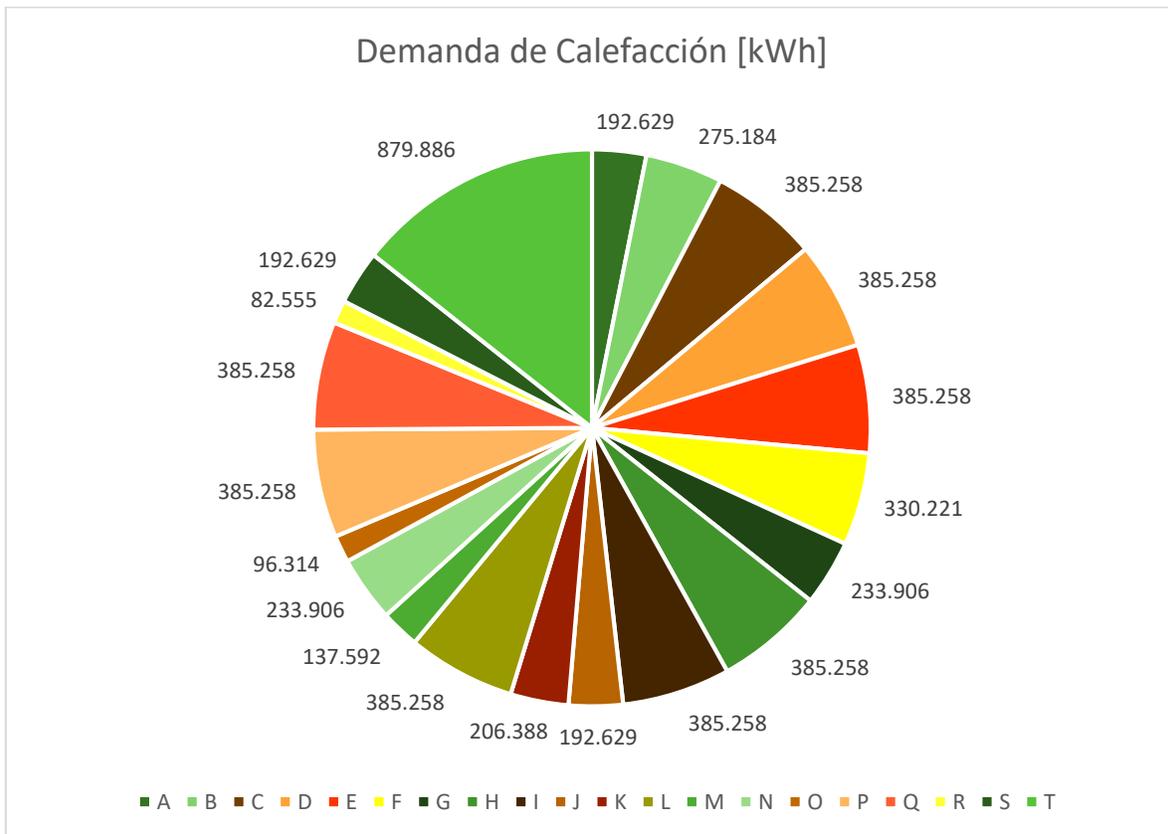
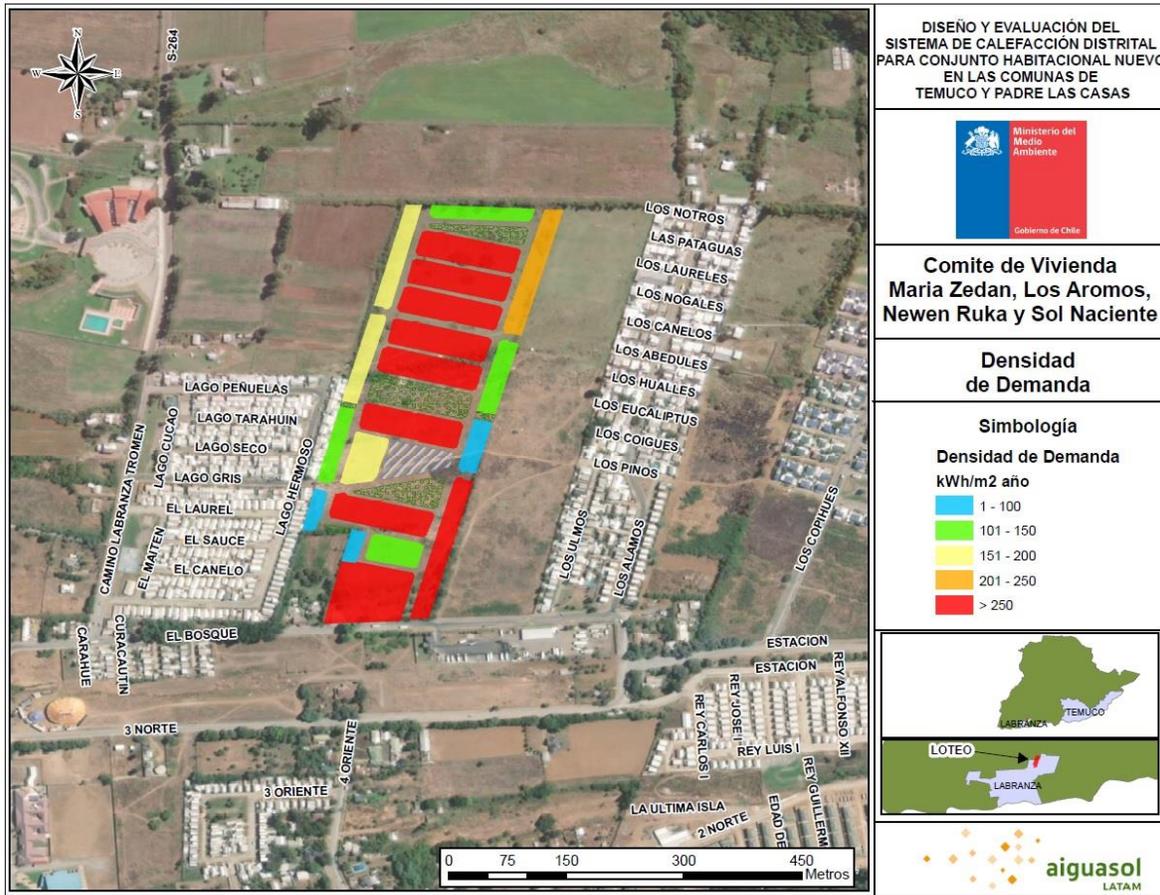


Ilustración 55. Demanda de Calefacción por Macrolotes.

Para una identificación visual de los lotes y su densidad de demanda, se observa el heatmap de la Ilustración 56.



DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL PARA CONJUNTO HABITACIONAL NUEVO EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS



Comite de Vivienda Maria Zedan, Los Aromos, Newen Ruka y Sol Naciente

Densidad de Demanda

Simbología

Densidad de Demanda

kWh/m² año

- 1 - 100
- 101 - 150
- 151 - 200
- 201 - 250
- > 250



Ilustración 56. Densidad de Demanda para proyecto Labranza



4.3. EMISIONES

Se calculan las emisiones para cada macrolote tomando las mismas consideraciones de la etapa anterior, los resultados se indican en el gráfico de la Ilustración 57.

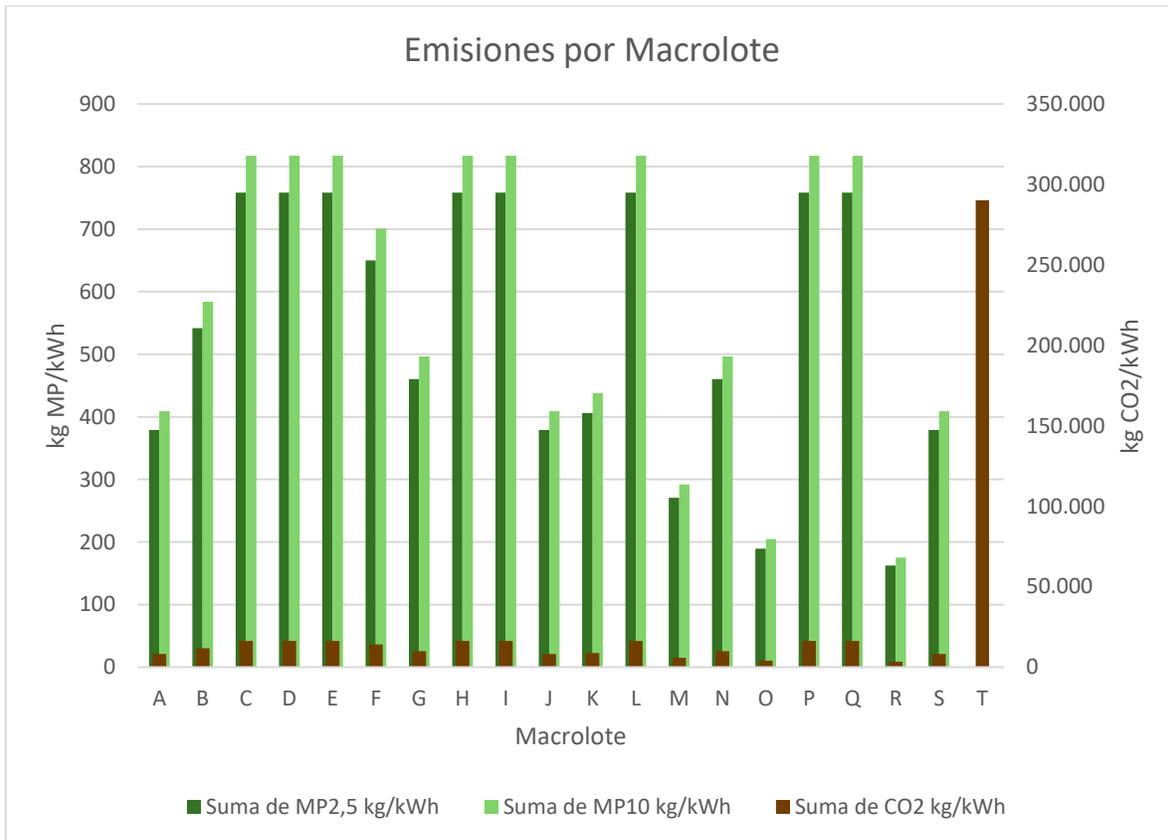


Ilustración 57. Emisiones por contaminante para cada macrolote.

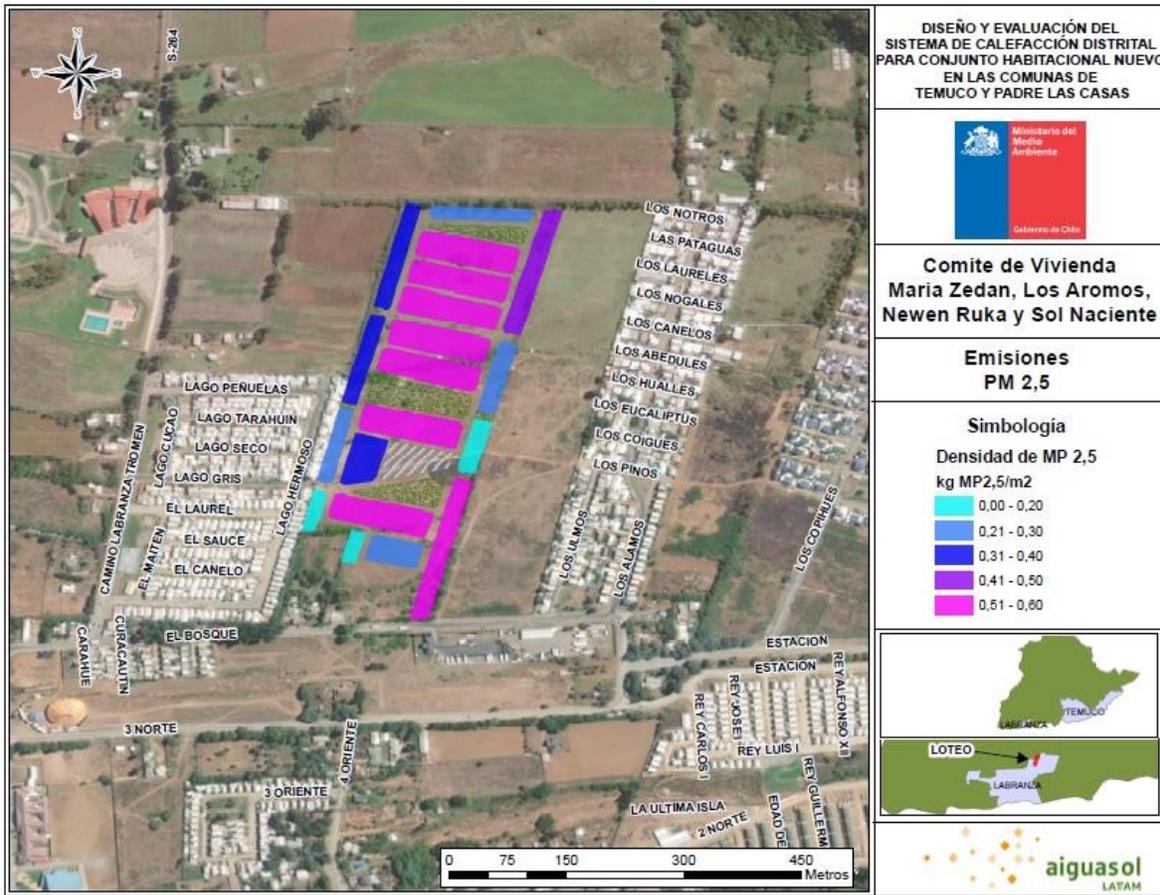


Ilustración 58. Emisiones MP2,5 para cada macrolote.

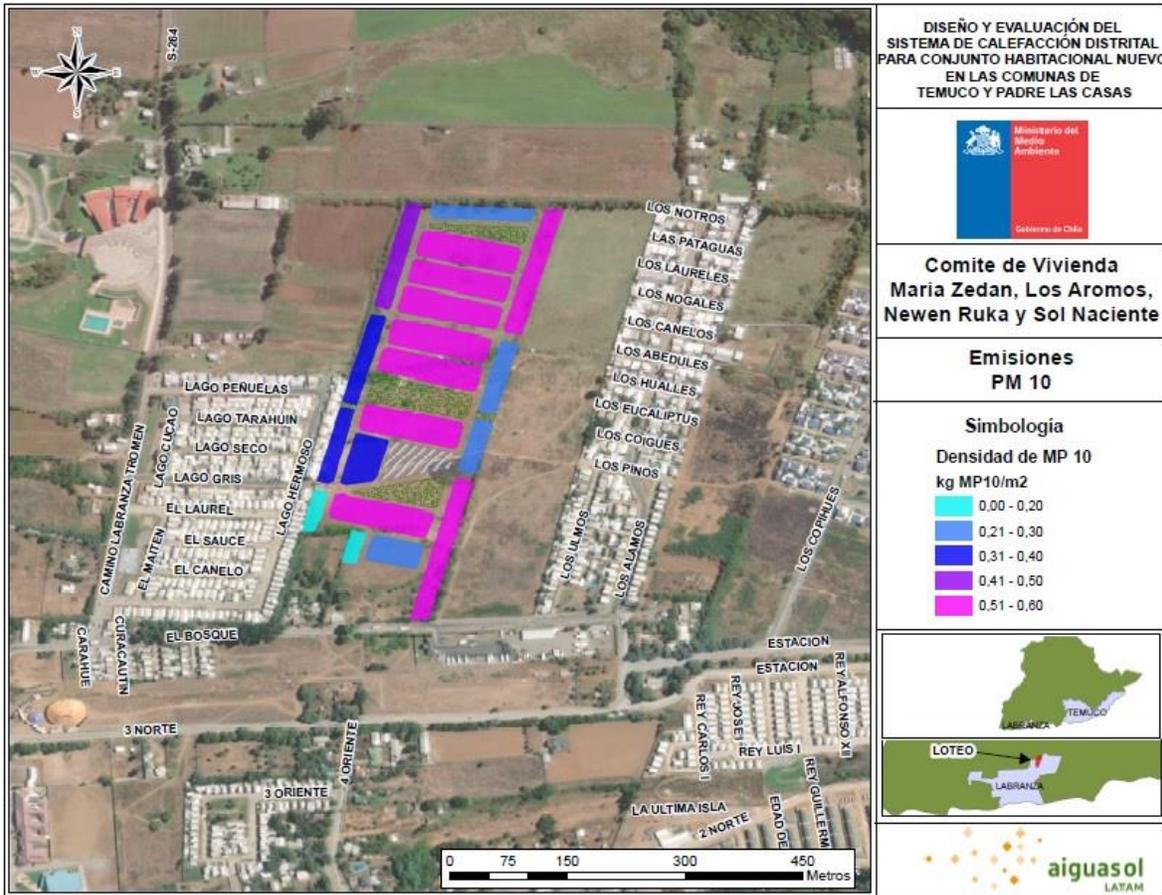


Ilustración 59. Emisiones MP10 para cada macrolote.

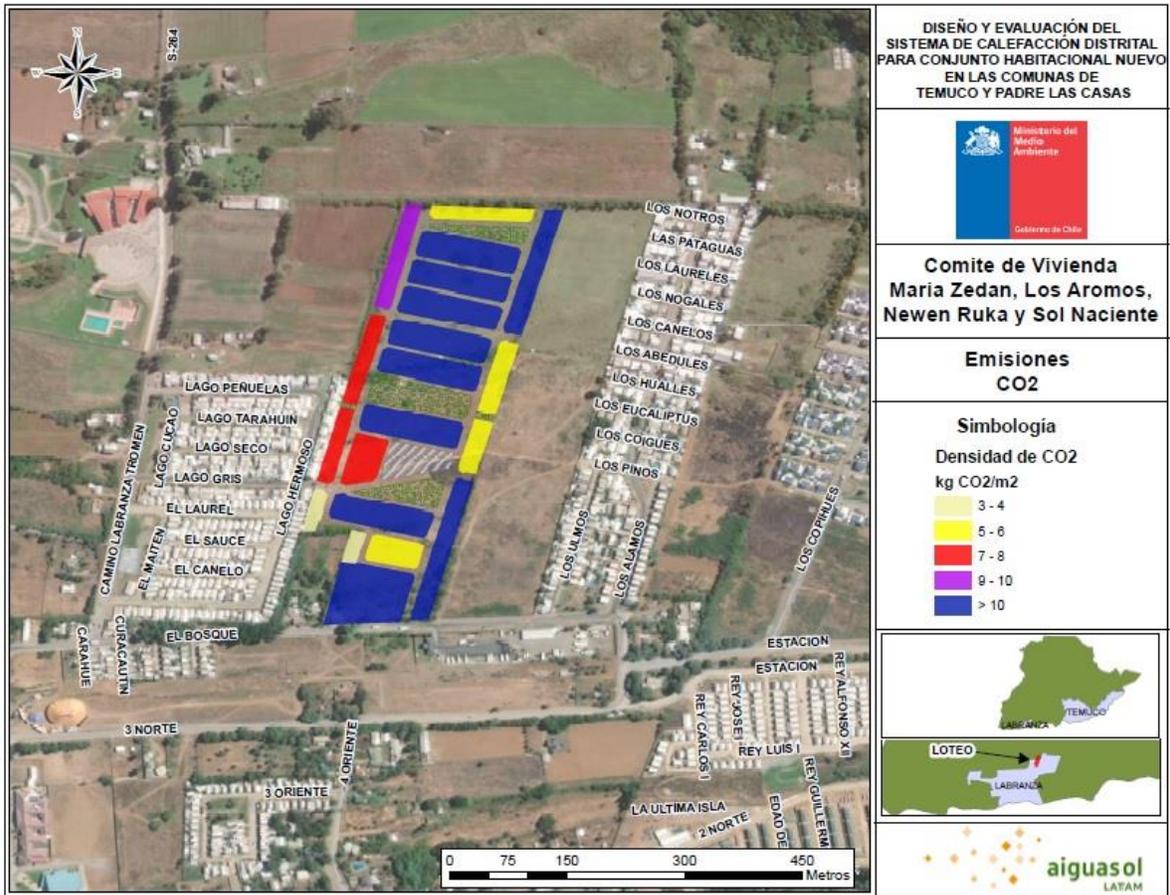


Ilustración 60. Emisiones CO2 para cada macrolote.



4.4. ENTORNO

Se mencionó en las secciones anteriores que el proyecto de Labranza posee una cierta cantidad de edificios singulares, sus características generales se listan en la Tabla 16, mientras que su ubicación se muestra en la Ilustración 61.

Tabla 16. Características Generales edificios ancla proyecto Labranza.

Nombre	Distancia [m]	Tipología	Superficie [m ²]	Demanda [kWh]	Demanda Específica [kWh/m ²]
Complejo Deportivo	378,89	Deportivo	2039,07	283.798	139,18
Gimnasio	727,6	Deportivo	426,75	59.395	139,18
Escuela	796,6	Centro Educativo	981,44	55.648	56,7
CESFAM	641,73	Salud	2656,78	519.507	195,54
Biblioteca Labranza	378,89	Edificio Público	1689,21	56.555	33,48
Condominio	873,35	Vivienda	19095,84	3.543.806	185,58
TOTAL				4.518.708	

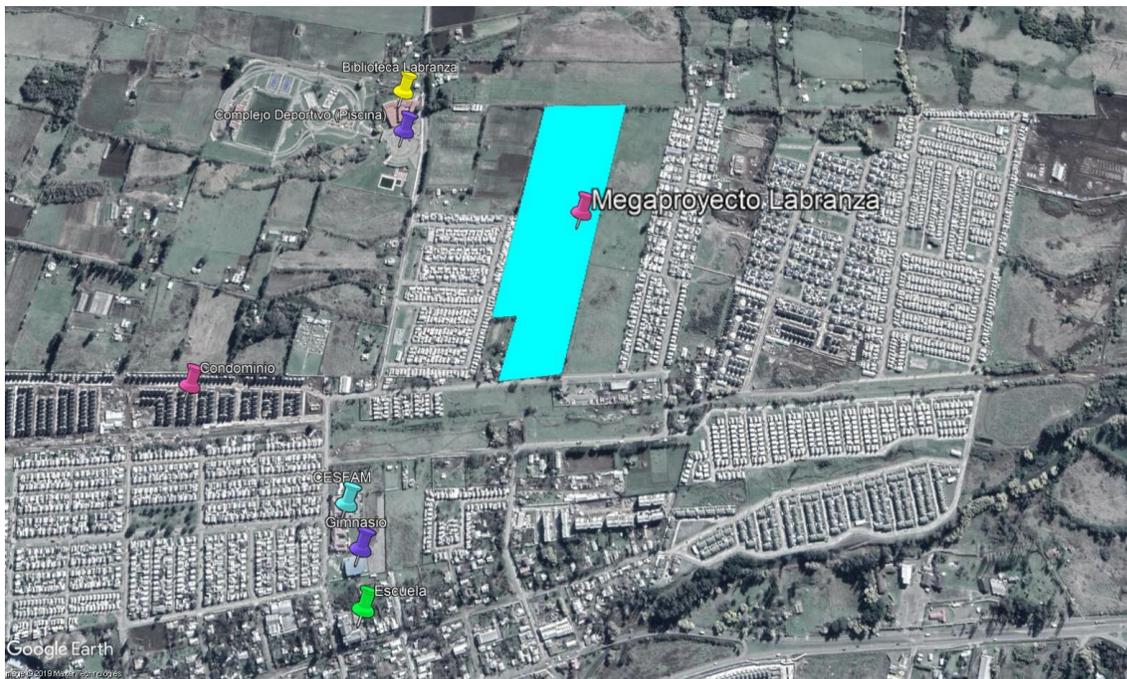


Ilustración 61. Ubicación edificios ancla en las cercanías del Megaproyecto Labranza



4.5. CALOR RESIDUAL

Como se mencionó previamente, en las inmediaciones del proyecto sí se pueden encontrar fuentes de calor residual, sin embargo, éstas se encuentran a una distancia significativa del proyecto elegido.

La Ilustración 62 muestra la ubicación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la empresa Aguas San Isidro. Esta planta podría ser una buena fuente de calor residual para la central de generación térmica del proyecto de calefacción distrital, pero se encuentra a casi 3 km de distancia del proyecto de Labranza, por lo que su utilización debe decidirse en función de parámetros económicos que se revisarán en las etapas venideras.



Ilustración 62. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas San Isidro en relación a la ubicación del proyecto.

Por otro lado, la Ilustración 63 muestra la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la empresa Aguas Araucanía, a más de 3,6 km de distancia del proyecto de Labranza. Al igual que la otra planta, su viabilidad como fuente de calor residual debe analizarse en etapas venideras, donde se tengan en consideración factores económicos que puedan influir en la decisión.



Ilustración 63. Ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas Araucanía en relación a la ubicación del proyecto.



5. SELECCIÓN TECNOLOGÍA GENERACIÓN DE CALOR

5.1. PLANTEAMIENTO

Para seleccionar la solución tecnológica a proponer, se toma como indicador comparativo el LEC, el costo nivelado de la energía, por sus siglas en inglés. Este indicador se calcula como el precio de la energía en el largo plazo en función de la tecnología que la genera, ya que incluye todos los gastos asociados a la construcción y explotación de un sistema propuesto, a valor presente según el período de análisis, que en este caso se ha considerado de 30 años, y se dividen por toda la energía producida durante el mismo período de tiempo. Esto permite comparar de forma eficaz y certera sistemas tan diversos como una caldera, de muy baja inversión, pero altos costos de operación, con un sistema solar térmico, con muy altos costos de inversión, pero muy bajos costos de operación.

Cada una de las soluciones tecnológicas propuestas está compuesta de más de una tecnología, uniendo las ventajas de unas y otras para lograr sistemas eficientes, poco contaminantes y lo más rentables posible, que, en cualquier caso, deben cumplir los requerimientos del Plan de Descontaminación Ambiental vigente en Temuco y Padre las Casas.

Se analizan las siguientes tres soluciones:

- a) Energía solar térmica con acumulación estacional apoyada con calderas de GLP
- b) Bomba de calor geotérmica con acumulación apoyada con calderas de GLP
- c) Calderas de biomasa con acumulación apoyadas con calderas de GLP

En los tres casos propuestos se combina una tecnología de muy alta eficiencia y/o renovabilidad (de altos costos de inversión) para cubrir la demanda basal de energía, la cual es requerida la mayor parte de las horas del año, complementando con una tecnología de bajo costos de inversión, independientemente de sus costos operacionales o características ambientales, para cubrir los picos de demanda con operaciones de muy pocas horas a lo largo del año.

En la Ilustración 87, se presenta la curva monótona de la demanda de energía requerida al sistema, la cual presenta las horas del año ordenadas según el nivel de potencia (de mayor a menor) requerida en cada una. Este gráfico permite definir cuál será la potencia de la tecnología que cubre la demanda basal versus la que cubra la potencia “peak”, así como también, cuál será el diseño de los sistemas de acumulación, de corto o de medio plazo.

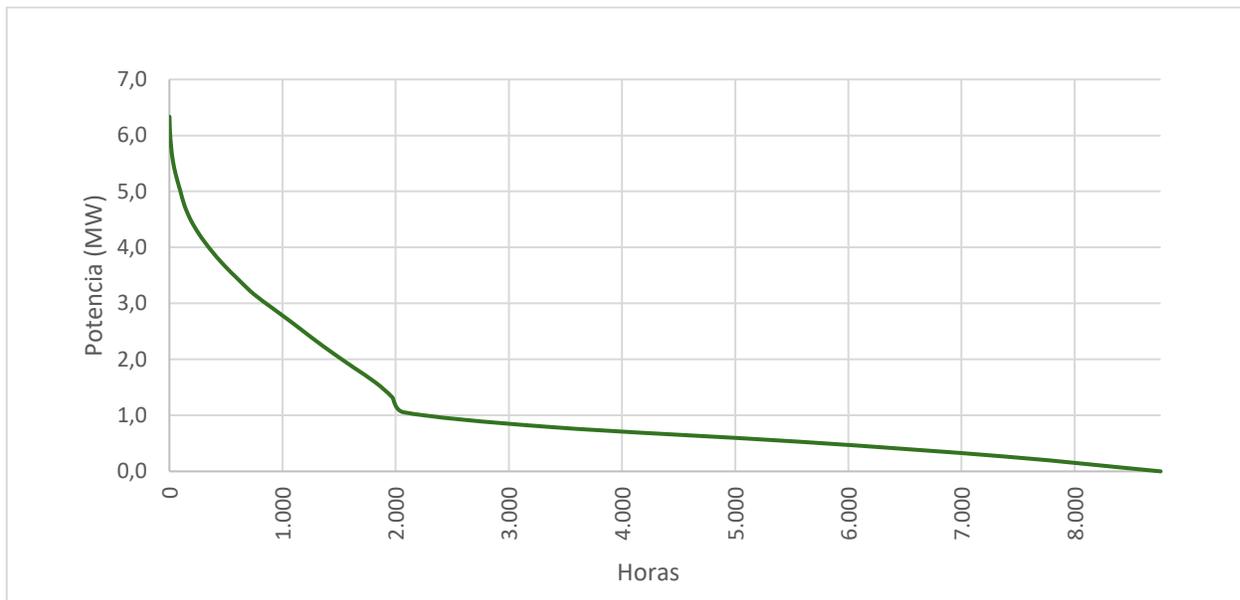


Ilustración 64. Curva monótona de demanda, incluyendo pérdidas de distribución

Esto permite optimizar el nivel de inversión según la potencia instalada de cada tecnología y sus costos operacionales.

5.1. HIPÓTESIS

Para llevar a cabo los análisis técnicos y financieros de las distintas alternativas, se estipulan una serie de hipótesis que se resumen en las tablas siguientes. Estas hipótesis se aplican en los análisis de flujo de caja anuales realizados para períodos de 30 años.

Tabla 17. Hipótesis Técnicas y Económicas

Parámetro	Valor	Variable de referencia
Mantenimiento Caldera	1.950	CLP por potencia instalada en kWt
Costo construcción sala de calderas	358.355	CLP por m2 edificado
Costo del GLP	83,3	CLP/kWh
Costo fijo electricidad Tarifa BT4.3	1.575	CLP/kW
Costo variable electricidad Tarifa BT4.3	89,5	CLP/kWh
Costo Calderas GLP. Termino A de ajuste logarítmico	-1.914	Costo Unitario por kWt= $A*\ln(P)+B$
Costo Calderas GLP. Termino B de ajuste logarítmico	29.655	Costo Unitario por kWt= $A*\ln(P)+B$
Costo biomasa.	18,312	CLP/kWh
Costo Acumulación. Termino A de $y = 6,1854x-0,48$	6,185	MMCLP/m3
Costo Acumulación. Termino B de $y = 6,1854x-0,48$	-0,48	MMCLP/m3
Consumo electricidad para bombeo	1,0%	De la energía entregada transportada
Superficie sala de calderas	0,1	m2 por kWt de calderas de gas natural



Superficie resto de servicios	30,0%	<i>Sobre superficie de sala de calderas</i>
Rendimiento Estacional Calderas	90,0%	
Costo calderas biomasa Termino A de $y = Ax-B$	184,9	€/kW - X, potencia, en MW
Costo calderas biomasa Termino B de $y = Ax-B$	-0,131	€/kW - X, potencia, en MW
Costo sistema GSHP A de $(-B/(X+A)+C)$	0,000421	MMCLP/kWt
Costo sistema GSHP B de $(-B/(X+A)+C)$	108.317	MMCLP/kWt
Costo sistema GSHP C de $(-B/(X+A)+C)$	257	MMCLP/kWt

Tabla 18. Hipótesis Financieras

Variable	Unidad	Valor
UF Día	CLP	27.566
Precio Euro	CLP	780
Precio Dólar	CLP	697
Inflación	%	3,2%
IPC	%	3,2%
Tasa de Descuento Financiera	%	12,%
Tasa de Descuento Social	%	6%
IPC electricidad	%	3,11%
IPC gas natural	%	5,5%
Período de Análisis	años	30
IPC Biomasa	%	3%

5.2. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA CON GLP

La primera alternativa analizada es la energía solar térmica con captadores planos de gran formato trabajando contra acumulación estacional complementada con calderas de GLP. Esta solución está muy extendida en países del norte de Europa, como Dinamarca o Alemania, con radiaciones menores que las presentes en Temuco y demandas de calefacción similares. Se trata de sistemas con grandes inversiones a largo plazo que requieren de mucho espacio para su implantación, cosa que a menudo no está disponible en los loteos inmobiliarios como el aquí analizado. A pesar de ello puede ser competitivo en ciertas condiciones, aunque el resultado en este caso es menos competitivo que las otras soluciones, a pesar de no ser inviable.



Ilustración 65. Ejemplo de sistema solar térmico para un sistema distrital en Europa

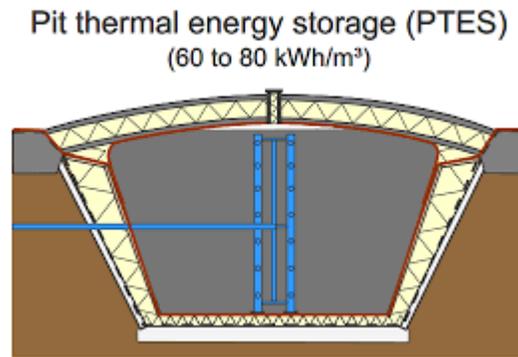


Ilustración 66. Imágenes ilustrativas de acumuladores estacionales tipo Pit Storage

A partir de simulaciones horarias, en las cuales se incorporan los sistemas seleccionados de forma acoplada para validar el cumplimiento de las demandas horarias requeridas, se pueden obtener los resultados presentados en la Ilustración 67.

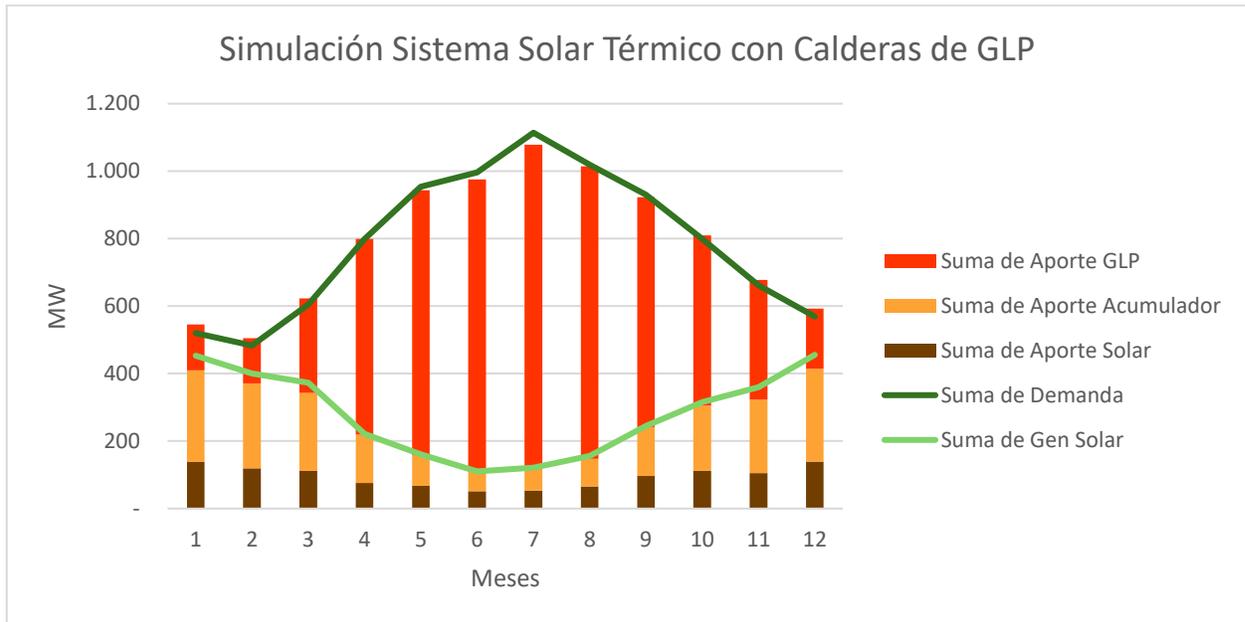


Ilustración 67. Simulación horaria de sistema solar con GLP para el presente proyecto.

A continuación, se presentan las principales características y resultados de los análisis llevados a cabo para la solución de integración de solar térmica con acumulación estacional y calderas de GLP.

Tabla 19. Parámetros técnicos Energía Solar con GLP

Parámetro	Unidad	ST+GLP
Potencia calderas Biomasa	MWt	0
Potencia calderas GLP	MWt	4,5
Potencia Bomba de Calor	MWt	0
Potencia Sistema Solar	MWt	2,8
Potencia Térmica	MWt	7,3
Área captación sistema solar	m ²	4.000
Número de pozos	-	0
Volumen acumulación	m ³	1.800



Tabla 20. Balance energético Energía Solar con GLP

Parámetro	Unidad	SST+GLP
Aporte Biomasa	MWh/año	0
Aporte GLP	MWh/año	6.325
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0
Aporte Sistema Solar	MWh/año	3.160
Aporte Biomasa	MWh/año	0%
Aporte GLP	MWh/año	66,7%
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0%
Aporte Sistema Solar	MWh/año	33,3%
Consumo Biomasa	MWh/año	0
Consumo GLP	MWh/año	7.145
Consumo electricidad	MWh/año	0

Tabla 21. Inversiones Energía Solar con GLP

Parámetro	Unidad	ST+GLP
Calderas Biomasa	CLP	0
Calderas GLP	CLP	60.991.949
Bomba de Calor	CLP	0
Campo de pozos	CLP	0
Sistema Solar	CLP	1.092.000.000
Acumulación	CLP	304.846.636
Edificio Central	CLP	129.007.897
Otros costos	CLP	158.684.648
Ingeniería e indirectos	CLP	174.553.113
Imprevistos	CLP	174.553.113
Inversión Total	CLP	2.094.637.356



Tabla 22. Parámetros financieros Energía Solar con GLP

Parámetro	Unidad	ST+GLP
Costo Biomasa	MMCLP/año	0
Costo GLP	MMCLP/año	595
Costo electricidad	MMCLP/año	3
Costo Mantenimiento	MMCLP/año	42
Costo O&M	MMCLP/año	640
Costo de Inversión	MMCLP/año	2.094
LEC	CLP/kWh	129

Tal como se puede observar, el LEC del sistema propuesto es bastante elevado, debido a una aportación energética del sistema solar de 34% frente a su alto nivel de inversión, sumado a un alto costo operacional de las calderas de GLP.

5.3. GEOTERMIA CON GLP

La segunda alternativa analizadas es la bomba de calor aprovechando el suelo como fuente geotérmica. Además, debe contar con acumulación de corto plazo y complementada con calderas de GLP. Se trata de sistemas de grandes inversiones a largo plazo que requieren de mucho espacio para la instalación de los pozos de disipación, aunque este suelo puede ser aprovechado posteriormente en su superficie. Los sistemas geotérmicos para sólo producción de calor, sin aprovechamiento en frío, suelen ser rentables cuando existe un foco térmico que se pueda usar directamente, como una napa subterránea, un lago o el mar, cosa que no sucede en este caso. Es por ello que la opción es instalar un campo de pozos, que tiene un costo mucho más elevado que, en este caso, aunque no inviabiliza la operación, sí que la hace poco rentable. Por otra parte, estos equipos requieren de electricidad y su alto costo tampoco ayuda, a pesar de que se puede lograr un COP² de entre 3 y 5.

² Indicador que proporciona la relación entre la energía útil entregada por un equipo y el consumo que este requiere para ello.

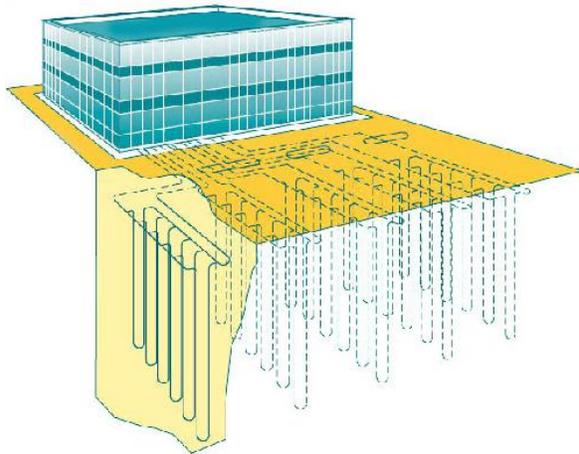


Ilustración 68. Imágenes ilustrativas de pozos geotérmicos.

Los gráficos de las ilustraciones a continuación muestran la operación del sistema, en términos de la simulación horaria para el cumplimiento de la demanda y del balance mensual de energía.

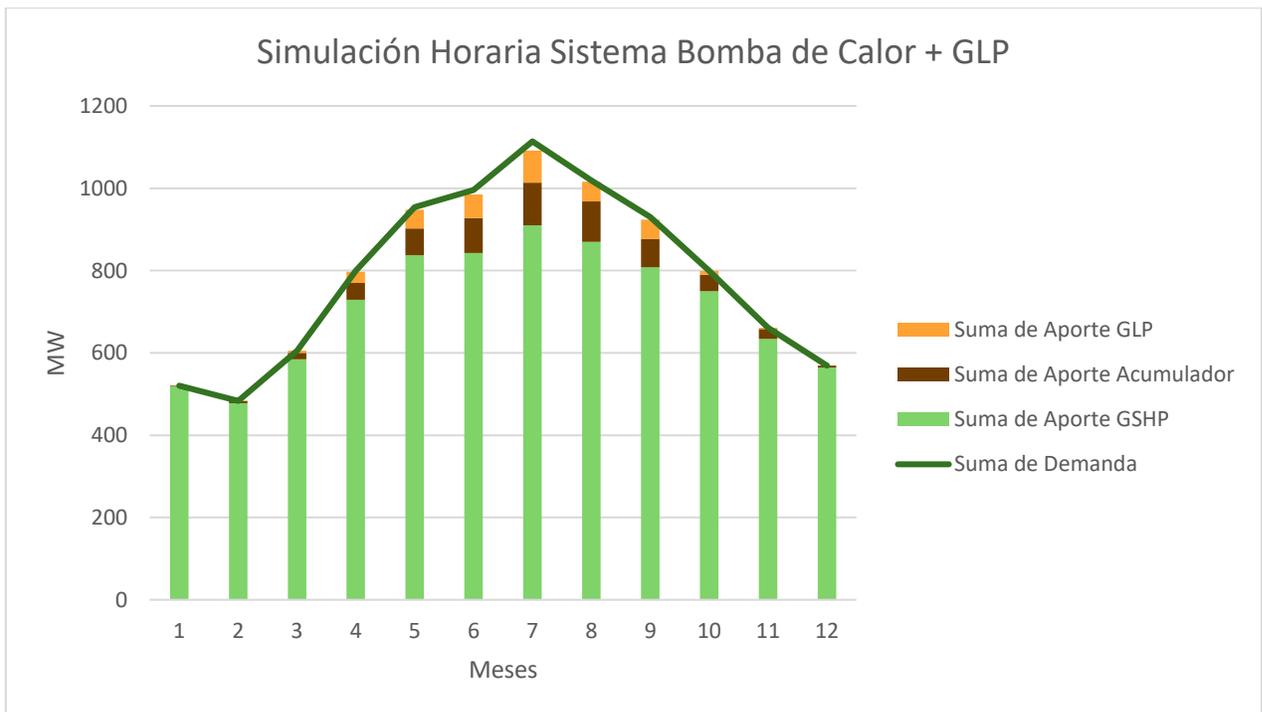


Ilustración 69. Simulación horaria sistema bomba de calor geotérmica y calderas a gas licuado.

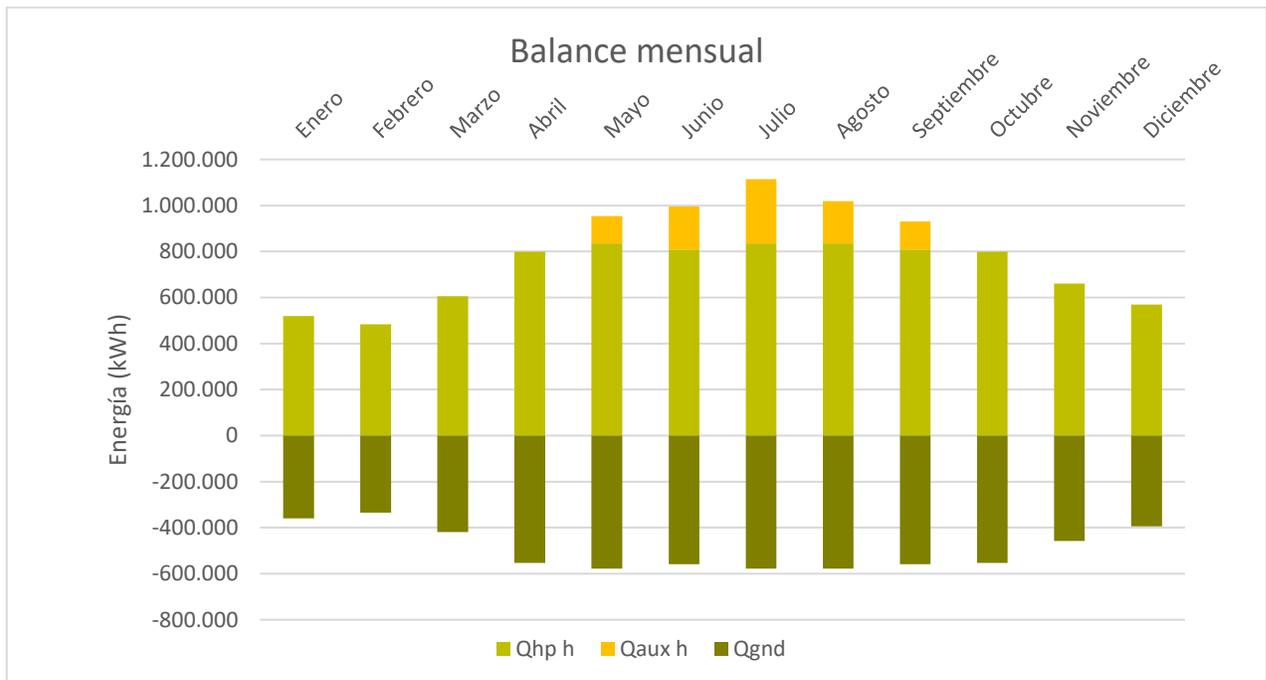


Ilustración 70. Balance mensual de operación energética del sistema geotérmico y la caldera auxiliar.

A continuación, se presentan las principales características y resultados de los análisis llevados a cabo para la solución de integración de solar térmica con acumulación estacional y calderas de GLP.

Tabla 23. Parámetros técnicos Geotermia con GLP

Parámetro	Unidad	GSHP+GLP
Potencia calderas Biomasa	MWt	0
Potencia calderas GLP	MWt	1.60
Potencia Bomba de Calor	MWt	2,88
Potencia Sistema Solar	MWt	0
Potencia Térmica	MWt	4,48
Área captación sistema solar	m ²	0
Número de pozos	-	286
Volumen acumulación	m ³	122



Tabla 24. Balance energético Geotermia con GLP

Parámetro	Unidad	GSHP+GLP
Aporte Biomasa	MWh/año	0
Aporte GLP	MWh/año	889
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	8.563
Aporte Sistema Solar	MWh/año	0
Aporte Biomasa	MWh/año	0%
Aporte GLP	MWh/año	9%
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	91%
Aporte Sistema Solar	MWh/año	0%
Consumo Biomasa	MWh/año	0
Consumo GLP	MWh/año	988
Consumo electricidad	MWh/año	2.825

Tabla 25. Inversiones Geotermia con GLP

Parámetro	Unidad	GSHP+GLP
Calderas Biomasa	CLP	0
Calderas GLP	CLP	24.852.968
Bomba de Calor	CLP	279.760.000
Campo de pozos	CLP	572.000.000
Sistema Solar	CLP	0
Acumulación	CLP	75.238.550
Edificio Central	CLP	160.543.161
Otros costos	CLP	111.239.468
Ingeniería e indirectos	CLP	122.363.415
Imprevistos	CLP	122.363.415
Inversión Total	CLP	1.468.360.976



Tabla 26. Parámetros financieros Geotermia con GLP

Parámetro	Unidad	GSHP+GLP
Costo Biomasa	MMCLP/año	0
Costo GLP	MMCLP/año	82
Costo electricidad	MMCLP/año	253
Costo Mantenimiento	MMCLP/año	9
Costo O&M	MMCLP/año	344
Costo de Inversión	MMCLP/año	1.468
LEC	CLP/kWh	67

5.4. BIOMASA CON GLP

La tercera alternativa analizada es el uso de biomasa leñosa para su combustión en calderas de biomasa con acumulación de corto plazo para optimizar su operación, maximizando las horas y el uso de este combustible, complementadas igualmente con calderas de GLP. Se trata de una tecnología más cara que las calderas de gas, pero neutra en emisiones de CO₂, con muy bajas emisiones de material particulado y que utiliza un recurso local y de precio muy competitivo. Estos sistemas requieren de la instalación de silos para el acopio y manejo de la biomasa. Se ha contemplado la instalación de filtros de partículas de última generación para neutralizar su impacto en emisiones.



Ilustración 71. Silo y caldera industrial de Biomasa

El resultado de la simulación horaria se presenta en la Ilustración 72:

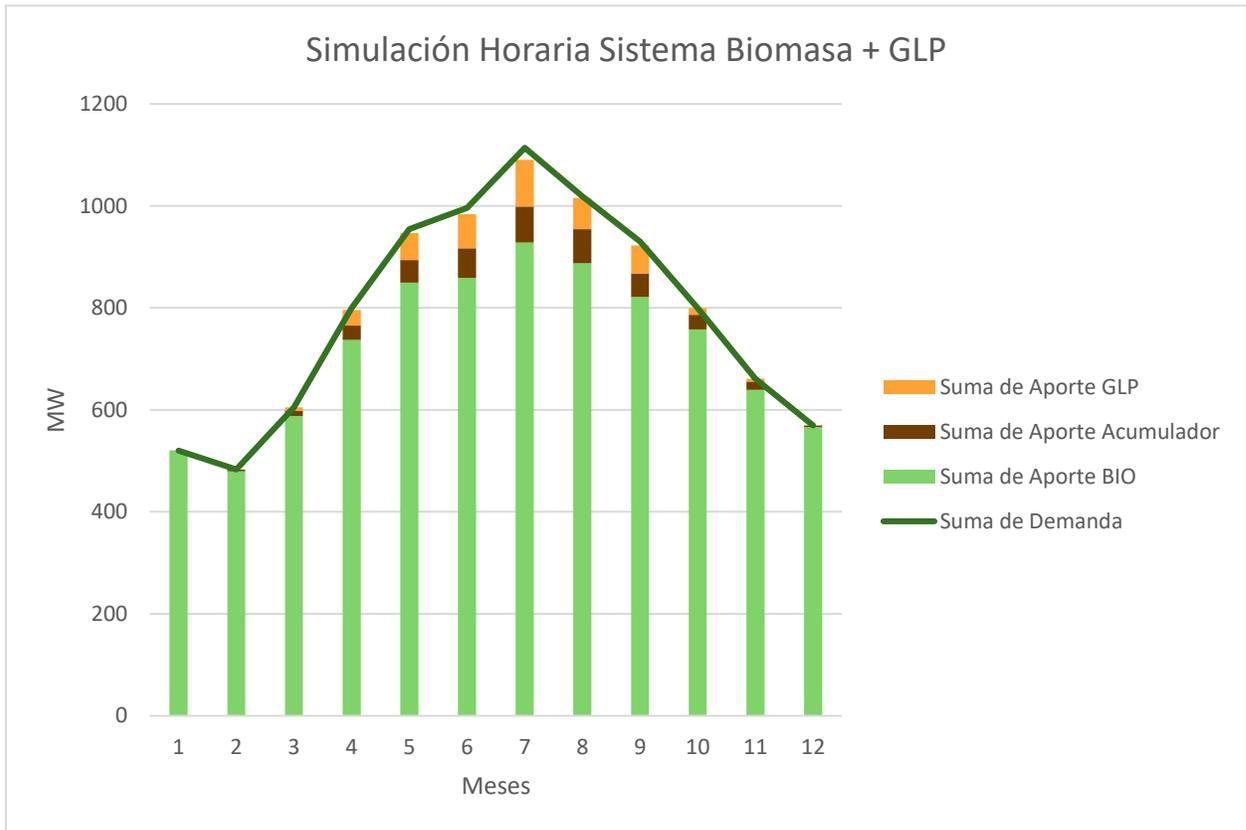


Ilustración 72. Simulación horaria del del sistema de biomasa con caldera a gas licuado auxiliar.

A continuación, se presentan las principales características y resultados de los análisis llevados a cabo para la solución de integración de solar térmica con acumulación estacional y calderas de GLP.



Tabla 27. Parámetros técnicos Biomasa con GLP

Parámetro	Unidad	BIO+GLP
Potencia calderas Biomasa	MWt	3,00
Potencia calderas GLP	MWt	1,50
Potencia Bomba de Calor	MWt	0
Potencia Sistema Solar	MWt	0
Potencia Térmica	MWt	4,50
Área captación sistema solar	m ²	0
Número de pozos	-	0
Volumen acumulación	m ³	81

Tabla 28. Balance energético Biomasa con GLP

Parámetro	Unidad	BIO+GLP
Aporte Biomasa	MWh/año	9.057
Aporte GLP	MWh/año	384
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0
Aporte Sistema Solar	MWh/año	0
Aporte Biomasa	MWh/año	96%
Aporte GLP	MWh/año	4%
Aporte Bomba de Calor	MWh/año	0%
Aporte Sistema Solar	MWh/año	0%
Consumo Biomasa	MWh/año	10.063
Consumo GLP	MWh/año	427
Consumo electricidad	MWh/año	0



Tabla 29. Inversiones Biomasa con GLP

Parámetro	Unidad	BIO+GLP
Calderas Biomasa	CLP	449.604.998
Calderas GLP	CLP	23.484.959
Bomba de Calor	CLP	0
Campo de pozos	CLP	0
Sistema Solar	CLP	0
Acumulación	CLP	60.935.863
Edificio Central	CLP	206.743.425
Otros costos	CLP	74.076.924
Ingeniería e indirectos	CLP	81.484.617
Imprevistos	CLP	81.484.617
Inversión Total	CLP	977.815.402

Tabla 30. Parámetros financieros Biomasa con GLP

Parámetro	Unidad	BIO+GLP
Costo Biomasa	MMCLP/año	184
Costo GLP	MMCLP/año	36
Costo electricidad	MMCLP/año	0
Costo Mantenición	MMCLP/año	9
Costo O&M	MMCLP/año	229
Costo de Inversión	MMCLP/año	978
LEC	CLP/kWh	43



5.5. COMPARATIVA

Finalmente se presentan los resultados de los tres sistemas de forma integrada para su comparativa. En primer lugar, se presenta un resumen del diseño conceptual de las soluciones comparadas en términos de la cantidad de equipos, potencias y sus eficiencias:

Tabla 31: Comparación Diseño conceptual CT

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Calderas de Biomasa	#			2
Potencia Calderas Bio	kW			1500
Eficiencia Estacional Calderas	%			90%
Calderas de GLP	#	3	2	1
Potencia Calderas GLP	kW	1500	800	1500
Eficiencia Calderas	%	90%	90%	90%
Bombas de Calor	#		8	
Potencia Bombas de Calor	kW		360	
Eficiencia Estacional GSHP	%		303%	
Área de Captación SST	m ²	4000		
Potencia Térmica Promedio	kW	2800		
Inclinación	°	40°		
Fracción Solar	%	33,40%		
Eficiencia Sistema	%	48%		

A continuación, se presenta la comparación en términos de potencia total de la central térmica para cada caso y otros valores de interés, lo cual se puede apreciar de mejor forma en la Ilustración 73.

Tabla 32. Parámetros técnicos por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Potencia calderas Biomasa	MWt	0	0	3,00
Potencia calderas GLP	MWt	4,5	1,60	1,50
Potencia Bomba de Calor	MWt	0	2,88	0
Potencia Sistema Solar	MWt	2,8	0	0
Potencia Térmica	MWt	7,30	4,48	4,50
Área captación sistema solar	m ²	4000	0	0
Número de pozos	-	0	286	0
Volumen acumulación	m ³	1.800	122	81

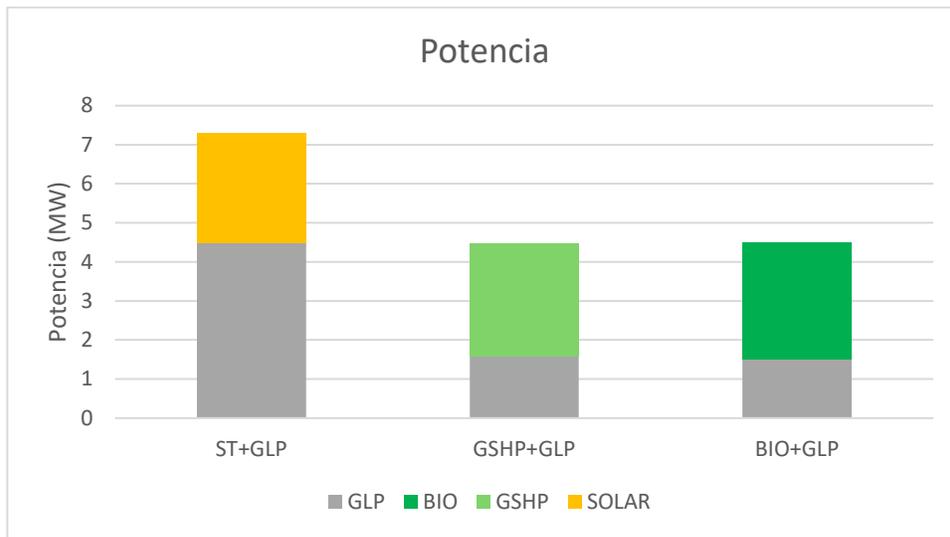


Ilustración 73. Potencias por alternativa y tecnología

Para luego presentar los balances de energía.

Tabla 33. Balance energético por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Aporte Biomasa	MWh	0	0	9.057
Aporte GLP	MWh	6.430	889	384
Aporte Bomba de Calor	MWh	0	8.563	0
Aporte Sistema Solar	MWh	3.160	0	0
Aporte Biomasa	MWh	0%	0%	96%
Aporte GLP	MWh	67%	9%	4%
Aporte Bomba de Calor	MWh	0%	91%	0%
Aporte Sistema Solar	MWh	33%	0%	0%
Consumo Biomasa	MWh	0	0	10.063
Consumo GLP	MWh	7.145	988	427
Consumo electricidad	MWh	0	2.825	0

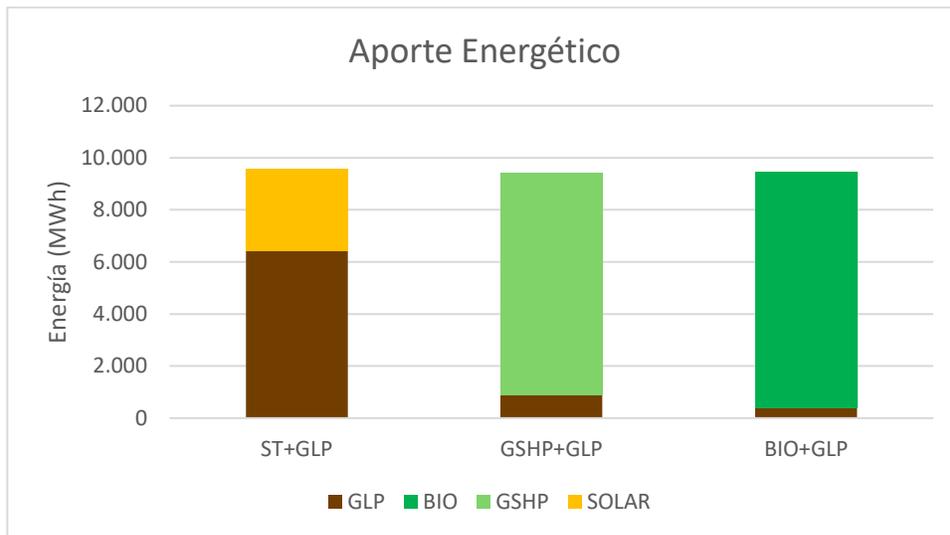


Ilustración 74. Balances energéticos por alternativa y tecnología

Finalmente, se presenta los costos de inversión de estos sistemas de generación.

Tabla 34. Inversiones por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Calderas Biomasa	CLP	0	0	449.604.998
Calderas GLP	CLP	60.991.949	24.852.968	23.484.959
Bomba de Calor	CLP	0	279.760.000	0
Campo de pozos	CLP	0	572.000.000	0
Sistema Solar	CLP	1.092.000.000	0	0
Acumulación	CLP	304.846.636	75.238.550	60.935.863
Edificio Central	CLP	129.007.897	160.543.161	161.259.872
Otros costos	CLP	158.684.648	111.239.468	69.528.569
Ingeniería e indirectos	CLP	174.553.113	122.363.415	76.481.426
Imprevistos	CLP	174.553.113	122.363.415	76.481.426
Inversión Total	CLP	2.094.637.356	1.468.360.976	917.777.112



Tabla 35. Parámetros financieros por alternativa

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Costo Biomasa	MMCLP	0	0	184
Costo GLP	MMCLP	595	82	36
Costo electricidad	MMCLP	3	253	0
Costo Mantenición	MMCLP	42	9	9
Costo O&M	MMCLP	640	344	229
Costo de Inversión	MMCLP	2.095	1.468	918
LEC	CLP/kWh	129	67	42

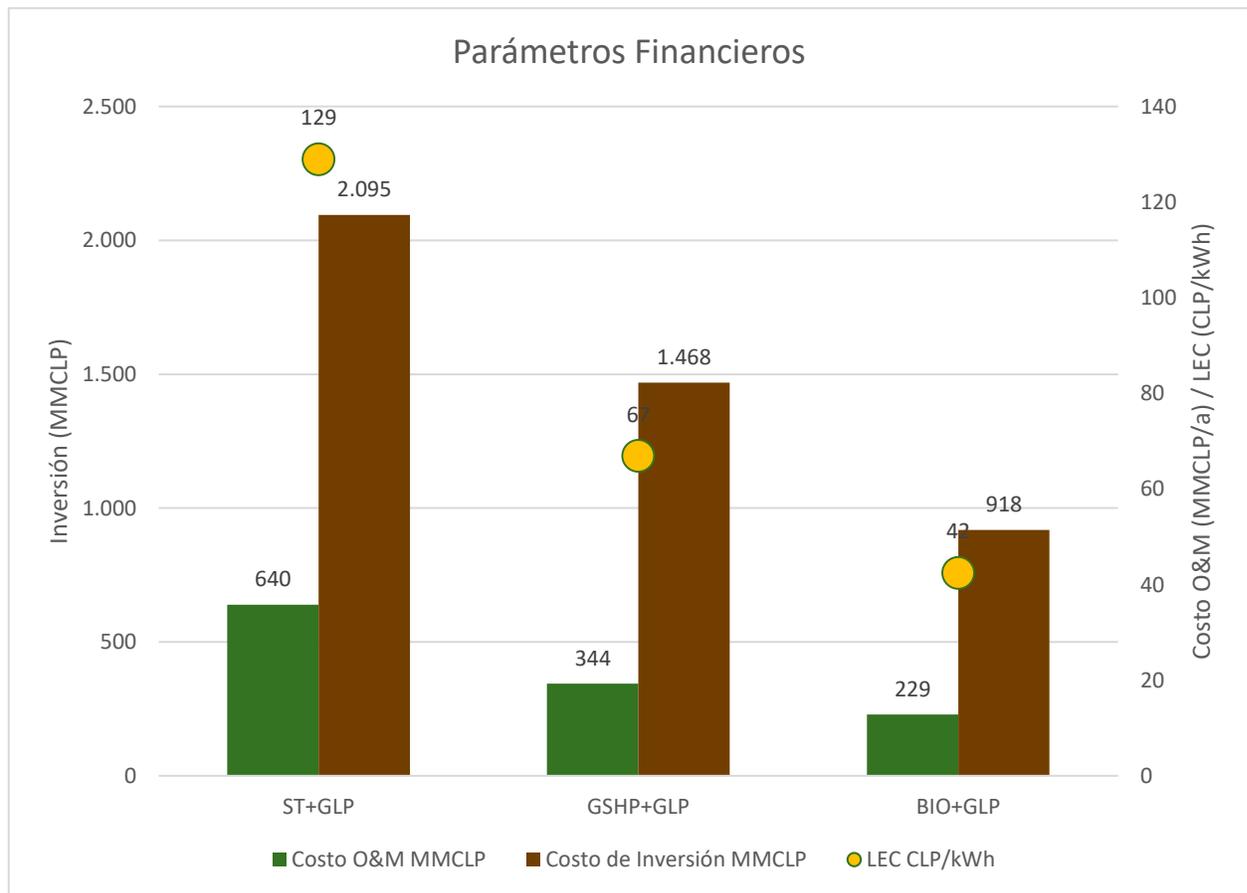


Ilustración 75. Parámetros financieros por alternativa



A la vista de los resultados obtenidos para el LEC, que se indican en la Ilustración 75, donde se consideran los montos de inversión más los costos de operación y mantenimiento durante el período a evaluar, se concluye que, si se desea obtener el menor costo nivelado de energía, la tecnología de calderas de biomasa con calderas de gas licuado es la indicada.

6. EMPLAZAMIENTO CENTRAL TÉRMICA Y DISEÑO RED

6.1. EMPLAZAMIENTO CENTRAL TÉRMICA

Para determinar la ubicación de la central térmica del sistema de calefacción distrital, se deben considerar diversos factores. En primer lugar, el tamaño del área a utilizar depende claramente del tamaño de la central térmica. Considerando que la central se diseña para entregar 4,5 MW de potencia y que se contempla la existencia de 2 calderas de biomasa y una de gas licuado, se estima que se requeriría de una sala de calderas de aproximadamente 320 m² de superficie. En esta estimación, se consideran todos los elementos de gran tamaño necesarios para la operación de la sala de calderas, como el acumulador y el silo de combustible, como indica el plano de la Ilustración 85.

Dentro del loteo del Megaproyecto Labranza, existe un área destinada al uso de Equipamiento, que cuenta con 1.879 m² de superficie. Se propone considerar esta locación, sin embargo, para no obstaculizar el uso destinado de esta área, se propone construir la central térmica de forma subterránea bajo el área de Equipamiento, cuya ubicación se muestra en la Ilustración 103.



Ilustración 76. Ubicación del área de Equipamiento dentro del Megaproyecto de Labranza

Si bien la construcción subterránea de una central térmica es más costosa que hacerlo en superficie debido a la alta intervención en el terreno, permite liberar espacio en superficie destinado a otros usos pudiendo de esta forma reorganizar el loteo con el fin de que no se pierda espacio que podría rentabilizarse o utilizarse para la construcción de áreas verdes. Esto además permite una mejor relación con la comunidad de residentes, al priorizar la construcción de espacios comunes por sobre la construcción de una central térmica.

Dadas entonces, la idoneidad y factibilidad de construir la central bajo el área de Equipamiento, se decide que el sector bajo el lote indicado como Equipamiento en la Ilustración 103 constituye el mejor lugar para el emplazamiento de la central térmica, por lo que los análisis posteriores consideran este aspecto.

6.2. DISEÑO DE RED

Con el emplazamiento de la central térmica ya decidido, se procede a diseñar la red de distribución de calor. Primero, se debe tener en consideración el mapa de loteo del conjunto habitacional, el que se indica en la Ilustración 77, en donde se destaca el único lote en el que se tiene planificado el emplazamiento de viviendas colectivas como edificios de departamentos. Los lotes restantes constituyen, en su mayoría, a sectores en los que se tiene planificada la construcción de viviendas unifamiliares tipo bloque.



Conociendo la distribución de lotes dentro del conjunto habitacional, se debe contar con un mapa que indique de forma visual la densidad de potencia en cada lote, en W/m² de terreno, de forma de guiar hacia dónde se deberían orientar las cañerías que deberían funcionar como principales. Este mapa se puede observar en la Ilustración 78.

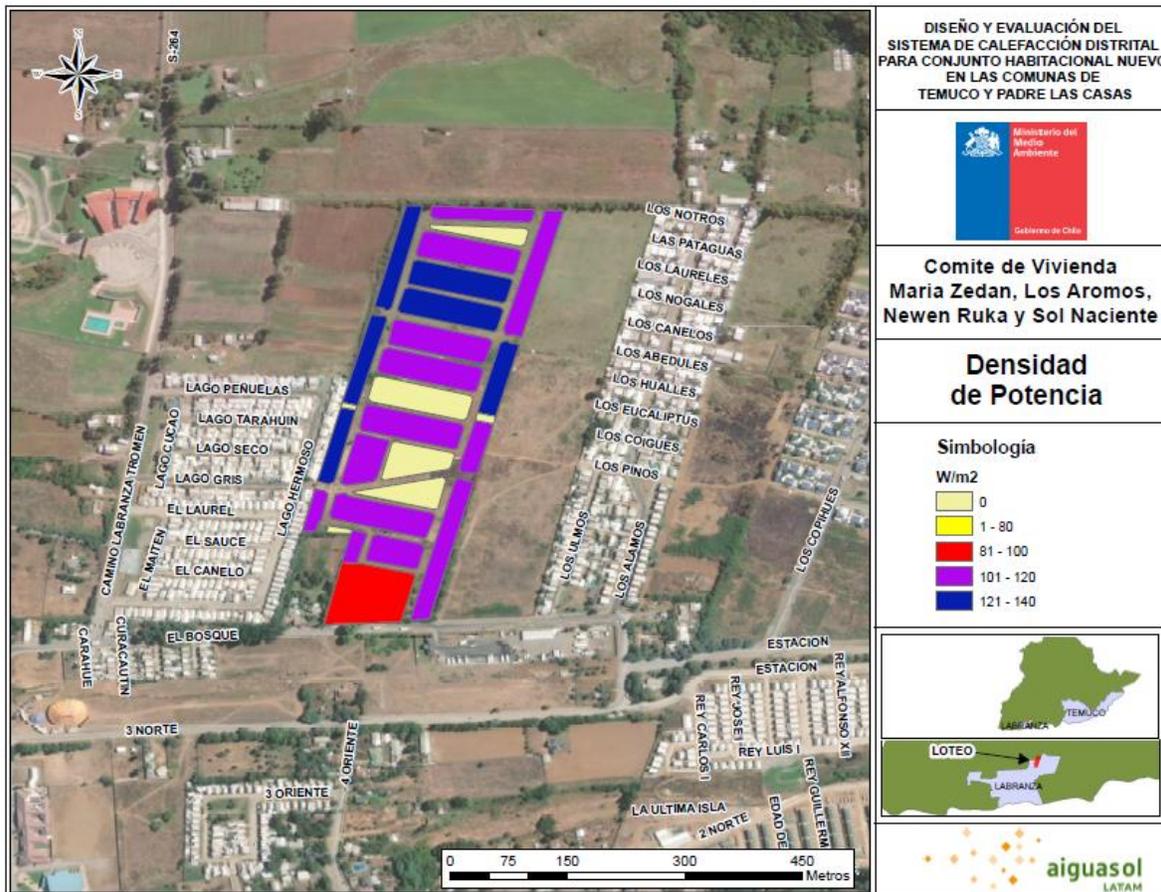


Ilustración 78. Mapa de Potencia del conjunto habitacional Labranza

Del mapa de las ilustraciones anteriores se puede ver que en general los lotes en los que existen viviendas tipo bloque tienen una densidad de potencia mayor al lote en donde se proyectan las viviendas colectivas.



El diseño de la red se realiza considerando diversos factores, los que se comentan a continuación:

- Sociales
 - Se debe conectar al 100% de la población del conjunto habitacional.
 - Lo ideal es utilizar caminos o vías, no se deben cruzar terrenos destinados a edificaciones o parques, pues implica una intervención mayor a los terrenos cada vez que se deba acceder a las tuberías para realizar reparaciones en éstas. De esta forma, las tuberías secundarias recorren las calles interiores entre los lotes.
- Económicos
 - Mientras las condicionantes sociales lo permitan, lo ideal es mantener trazados de cañería cortos, rectos y favoreciendo aquellos en los que se pueda consolidar caudal de distintas zonas en una misma tubería.
- Técnicos
 - Los tubos que llevan el agua caliente desde la central térmica hasta las casas siguen el mismo recorrido que los tubos que llevan el agua de retorno desde las casas hasta la central.
 - Se debe considerar el espacio suficiente para la instalación de dos tuberías paralelas, desde la central y de vuelta a la misma.
 - Se debe cuidar de no sobrecargar una tubería con demasiado caudal únicamente para minimizar costos, ya que esto no siempre genera economías de escala debido a que los costos según el diámetro de cañería (o su capacidad de caudal) no es lineal.
 - Respecto a los diámetros de cada uno de los tubos, se consideran algunos criterios de forma de elegir el diámetro idóneo. Estos criterios tienen relación con evitar pérdidas de carga y controlar la velocidad del flujo dentro de la cañería de modo de evitar daños en la misma. Los criterios seleccionados fueron:
 - Pérdida de carga máxima de 40 (mmca).
 - Velocidad máxima de flujo de 2 (m/s)

En el caso particular del conjunto habitacional de Labranza, el loteo se encuentra dividido de forma ordenada y cuadrículada, por lo que se propone un sistema con dos vías principales que cruzan todo el conjunto habitacional. Considerando esta subdivisión además del mapa de potencia, se propone que la red se distribuya utilizando cañerías principales que circulen por estas vías. En la Ilustración 79 se puede ver el diseño propuesto para la red de distribución de calor del sistema de calefacción distrital.



Ilustración 79. Diseño de red propuesto para sistema de calefacción distrital en el conjunto habitacional de Labranza

En la Ilustración 79, las líneas anaranjadas identifican las tuberías principales, que conectan directamente la central térmica con algunas zonas del conjunto habitacional. En general son estas las tuberías de mayor diámetro. Las líneas de color verde identifican las tuberías secundarias, de menor diámetro que las principales, y conectan zonas del conjunto habitacional al sistema de calefacción a las tuberías principales para llegar a la central térmica. Finalmente, se observan dos líneas celestes en la parte inferior de la Ilustración 79, estas corresponden a tuberías terciarias, en general se utilizan para conectar zonas de difícil acceso, aunque en este caso se utilizan específicamente para conectar el lote que contiene la zona de viviendas colectivas. Por otro lado, los polígonos de colores semitransparentes identifican la subdivisión de lotes en el proyecto del conjunto habitacional de Labranza.



En la Tabla 36 se listan las características principales de las tuberías que forman la red de distribución de calor, la que cuenta con una longitud total de 2.246 metros.

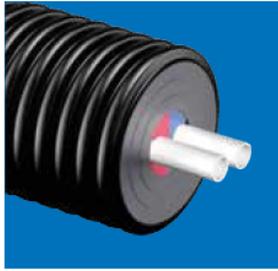
Tabla 36. Resumen características principales de tubos de la red de calefacción distrital

ID Tubería	Nivel	Di (mm)	Di (inch)	L (m)
LAB-01-01	Primaria	202,74	8"	331
LAB-01-02	Primaria	154,08	6"	205
LAB-01-03	Primaria	128,2	5"	466
LAB-02-01	Secundaria	52,48	2"	54,9
LAB-02-02	Secundaria	62,68	2 1/2"	96,4
LAB-02-03	Secundaria	52,48	2"	97
LAB-02-04	Secundaria	52,48	2"	99
LAB-02-05	Secundaria	62,68	2 1/2"	101
LAB-02-06	Secundaria	62,68	2 1/2"	97
LAB-02-07	Secundaria	62,68	2 1/2"	95,6
LAB-02-08	Secundaria	62,68	2 1/2"	93
LAB-02-09	Secundaria	52,48	2"	94
LAB-02-10	Secundaria	52,48	2"	93,4
LAB-02-11	Secundaria	52,48	2"	97,6
LAB-02-12	Secundaria	52,48	2"	99,6
LAB-02-13	Secundaria	90,12	3 1/2"	57,2
LAB-02-14	Secundaria	90,12	3 1/2"	32,6
LAB-03-01	Terciaria	40,94	1 1/2"	36,1
TOTAL	-	-	-	2.246,4

En la Ilustración 80 se observan las características generales de las tuberías consideradas en el estudio, destacándose su diseño "Twin", referido a las tuberías necesarias para llevar el caudal de agua desde la central hacia los hogares, y de vuelta a la central para completar el ciclo.



Ecoflex Thermo Twin



80°C
max. 95°C



6 bar



25–75 mm

Primary application

- Heating water

Secondary applications

- Waste water
- Chemicals (call for confirmation)

Medium pipe

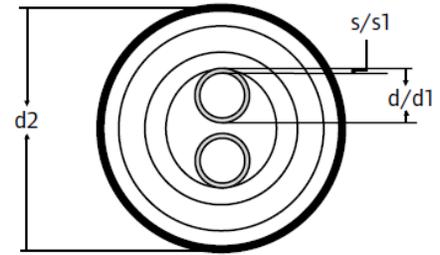
- PE-Xa with EVOH, SDR 11 (6 bar)

Insulating material

- Cross linked PE foam

Jacket pipe material

- PE-HD (PE 80)



Order Code	Medium pipe da / di / s	DN	Jacket pipe Da [mm]	Weight [kg/m]	Delivery lengths [m]	Bending radius [m]	Insulation thickness [mm]	U-value
1018134	(2x) 25 / 20.4 / 2.3	2x20	175	2.09	200	0.5	43	0.201
1018135	(2x) 32 / 26.2 / 2.9	2x25	175	2.16	200	0.6	38	0.241
1018136	(2x) 40 / 32.6 / 3.7	2x32	175	2.50	200	0.8	28	0.293
1018137	(2x) 50 / 40.8 / 4.6	2x40	200	3.59	100	1.0	32	0.314
1018138	(2x) 63 / 51.4 / 5.8	2x50	200	4.49	100	1.2	18	0.42
1088276	(2x) 75 / 61.4 / 6.8	2x65	250	6.43	100	1.4	28	0.369

Ilustración 80. Característica generales tubería considerada

6.3. PLAZOS DE EJECUCIÓN DE LA OBRA

Ya con las definiciones de diseño anteriores se puede realizar una estimación de los plazos de ejecución de un proyecto como este. Para realizar esta estimación de tiempos se consideraron algunos supuestos sobre el cómo realizar estos trabajos, que en la realidad cada constructora o instaladora puede optimizar según la mano de obra que se asigne y el traslape de actividades que se puede lograr si es que estas se realizan por etapas. Con ello es posible reducir los tiempos del proyecto. Además, hay actividades de la construcción del proyecto inmobiliario, que deben estar ejecutadas para poder realizar las relacionadas al proyecto distrital, razón por lo cual el plazo total del proyecto es poco realista y dependerá de como cruzar la información de cada actividad con la planificación del proyecto general.

A continuación, se describen los supuestos de ejecución de 4 actividades principales para la estimación de los plazos:

- **Construcción de Red Distrital:** Para esta actividad se considera la actividad de elaboración de zanja de 2.000 mts de largo con un ancho de 80 cms. y profundidad de 1 mts. Este trabajo se contempla realizar con pala mecánica. Además, se plantea la instalación de la red de cañerías dobles pre-aisladas y posterior llenado de la zanja con material de relleno. Esta actividad es realizada por dos cuadrillas de dos personas y se estima su ejecución en un plazo de 60 días trabajados. Esta



actividad debe ser realizada durante la urbanización del proyecto para evitar los sobrecostos de reposición. Al final del montaje se debe contemplar la realización de pruebas de presión para eliminar la posibilidad de filtraciones después de rellenar y cerrar la zanja.

- **Construcción de Central Térmica:** Para esta actividad deberá evaluarse el momento ideal para que sea realizada en función del proyecto en cuestión, en este caso se consideró su comienzo en paralelo a la construcción de la red distrital, pero podría ser al principio o final de la construcción de las viviendas del loteo. La construcción de esta y el montaje de todos los equipos hidráulicos, así como los de generación, se estima tendrá una duración de 50 días trabajados aproximadamente. El tipo de obras civiles a realizar podría modificar esta estimación dependiendo del proyecto.
- **Instalación de sistemas de Calefacción y ACS para las viviendas:** Este ítem no está evaluado económicamente dentro de este estudio porque se considera parte de la especialidad de clima que se debe proponer como parte del equipamiento de las casas independiente de la tecnología. Pero en relación con los plazos de la obra esta actividad es crucial e impacta en el resto de las tareas a ejecutar, por lo que se ha realizado una estimación de los tiempos que tomaría equipar con estos sistemas las viviendas del proyecto. Para tal actividad se considera el trabajo de 6 cuadrillas de dos personas a las cuales les tomará realizar la tarea en 190 días aproximadamente. Esto significa además una coordinación con el avance de la construcción de las viviendas ya que es parte de dicha etapa.
- **Conexión del sistema distrital a las viviendas:** Por último, se deben conectar las viviendas a la red distrital construida, para lo cual se deben montar los equipos de conexión. Esta actividad se realiza a posterior de las anteriores y se consideran 6 cuadrillas de dos personas, las cuales se estima tardarán aproximadamente 40 días trabajados.

Finalmente, se presenta una carta Gantt tentativa con el detalle de estas actividades y sus plazos. En base a estas estimaciones la obra total tardaría 16 meses.

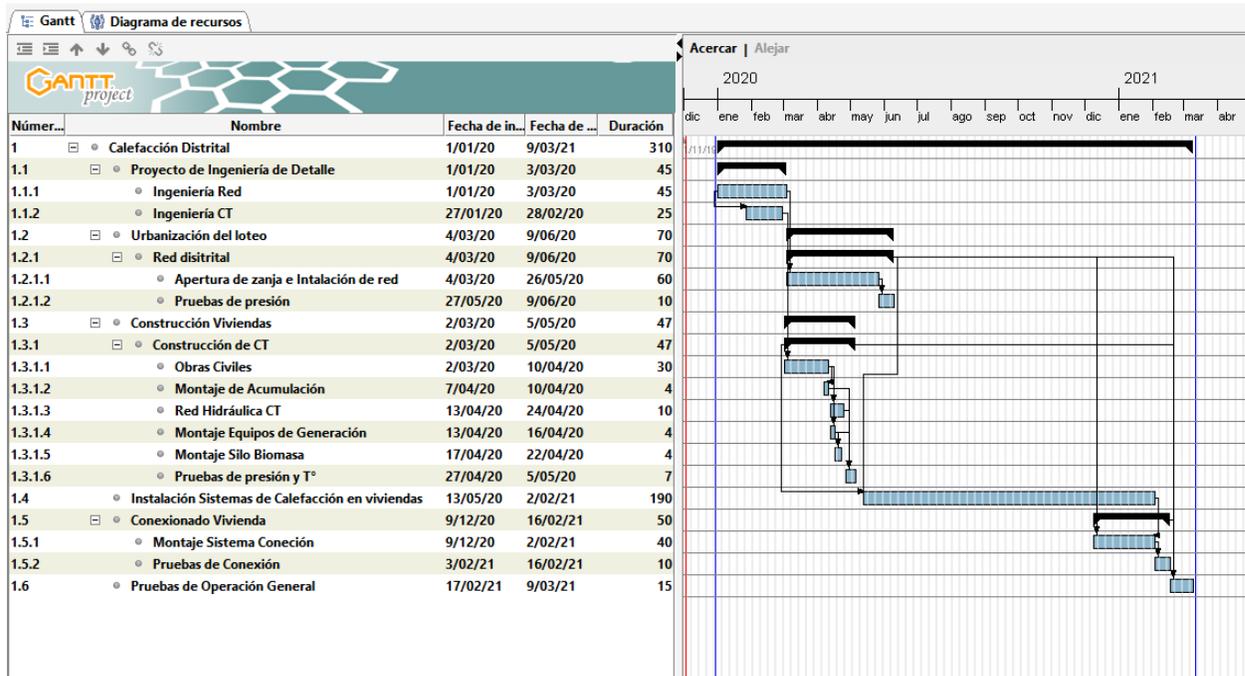


Ilustración 81: Carta Gantt proyecto de Ejecución DH

7. DISEÑO DE PLANTA DE CALEFACCIÓN

7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En el capítulo 2 se concluyó que la tecnología elegida para el sistema de generación de calor es un sistema híbrido compuesto de calderas de biomasa para cubrir la demanda base y caldeas de gas licuado para los peaks de demanda, con un sistema de acumulación para reducir los peaks de demanda acumulando calor de las calderas de biomasa, permitiendo incrementar la fracción de biomasa.

Las características generales de la central térmica se observan en la Tabla 74.

Tabla 37. Características Generales proyecto Labranza.

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia calderas Biomasa	MWt	3,0
Potencia calderas GLP	MWt	1,5
Potencia Térmica	MWt	4,5



Volumen acumulación	<i>m3</i>	81
Aporte Biomasa	<i>MWh</i>	9.057
Aporte GLP	<i>MWh</i>	384
Aporte Biomasa	<i>MWh</i>	96%
Aporte GLP	<i>MWh</i>	4%

Para el cálculo de la potencia necesaria, se trabaja con un perfil horario de demanda, el que se muestra en la Ilustración 82.

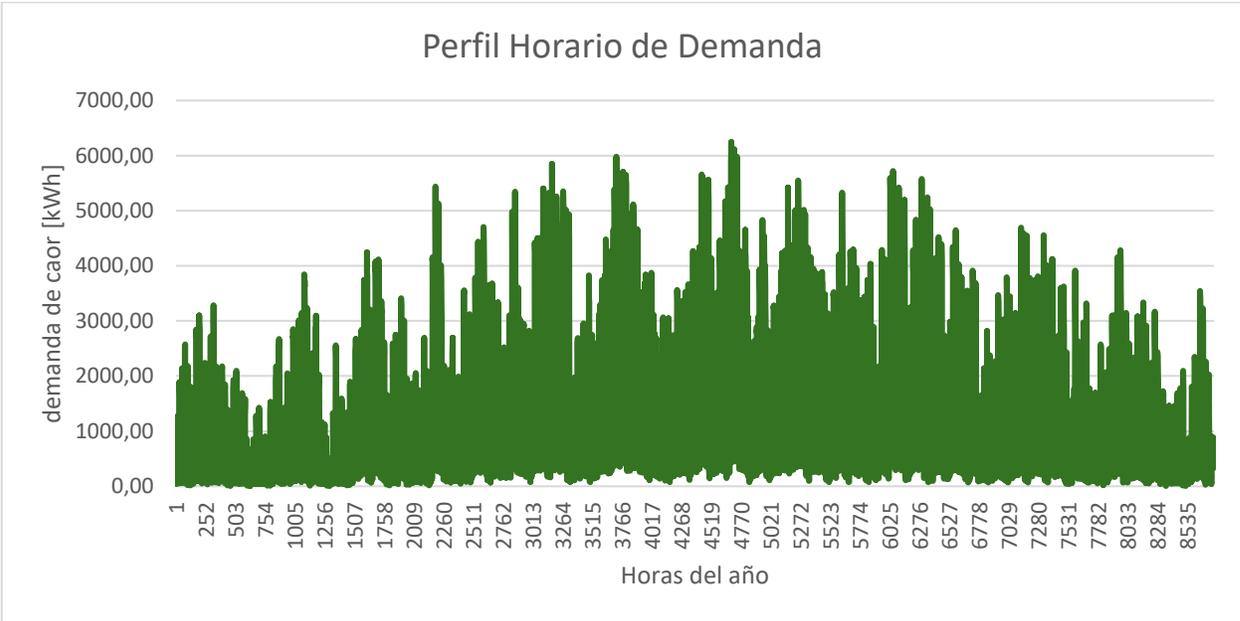


Ilustración 82. Perfil horario de demanda

Con el perfil horario de demanda, se construye una curva monótona de demanda. Esta curva ordena de manera descendente la demanda de calor hora a hora, de manera de identificar cuánto tiempo se demanda cierta potencia, de forma de dar cumplimiento prácticamente a toda la demanda sin sobredimensionar el sistema. La curva monótona del sistema se muestra en la Ilustración 83.

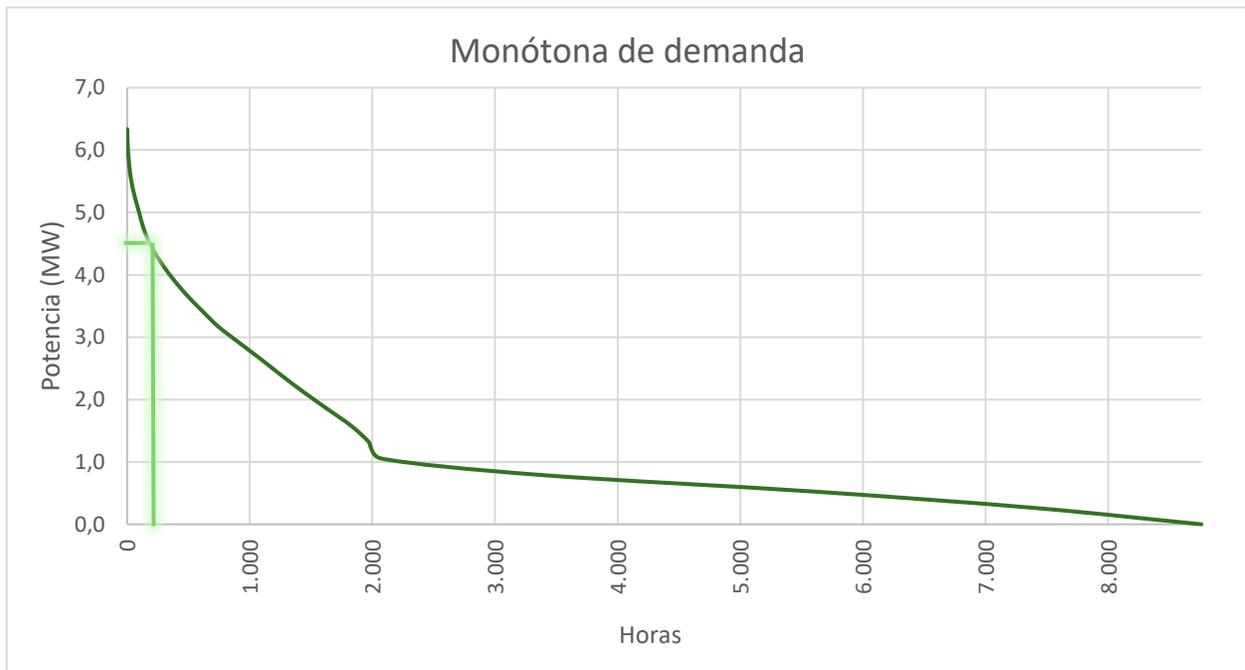


Ilustración 83. Curva monótona de demanda

La curva de la Ilustración 83 permite identificar que un 98% del tiempo la demanda del sistema es inferior a los 4,5 MWh, implicando que unas 170 horas al año la demanda supera este valor. Esto permite diseñar el sistema con una potencia igual a este valor máximo, y que el sistema de acumulación pueda suplir las horas de demanda mayores a este número.

El gráfico de la Ilustración 102 ilustra los aportes, tanto de las calderas de biomasa como de las calderas de GLP en contraste con la demanda. Se puede observar que, durante los meses de mayor demanda, se tiene aporte de los dos tipos de calderas además del aporte del acumulador, lo que permite cubrir los peaks de demanda que ocurren en esta época del año,

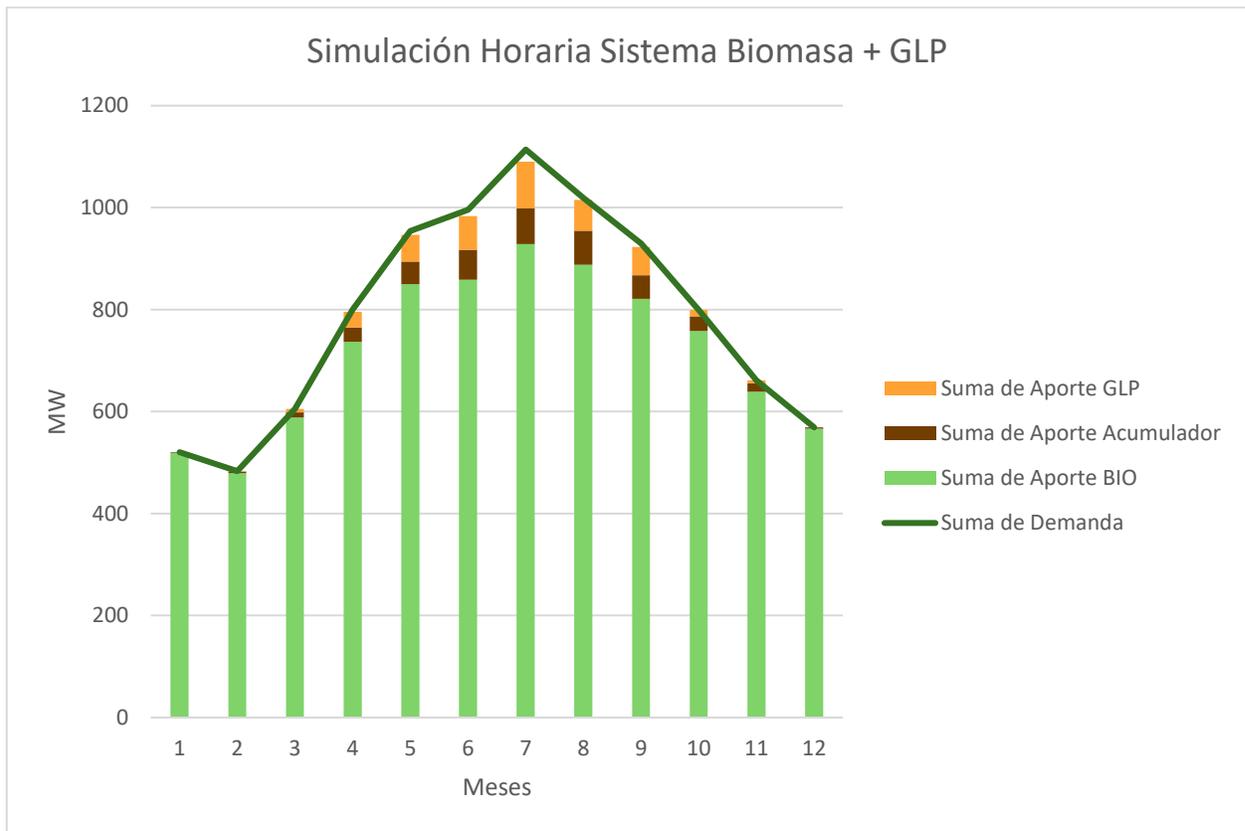


Ilustración 84. Simulación horaria de demanda y aportes

7.2. DISPOSICIÓN DE EQUIPOS EN CENTRAL TÉRMICA

En las ilustraciones a continuación se muestra la disposición de los equipos en la sala de calderas de la central térmica del sistema de calefacción distrital, además de una muestra del área que utilizaría la sala de calderas en relación al área disponible en la zona de Equipamiento, recordando que de todas maneras se propone una central térmica instalada bajo superficie.



PLANTA SUBTERRANEA SALA DE MÁQUINAS

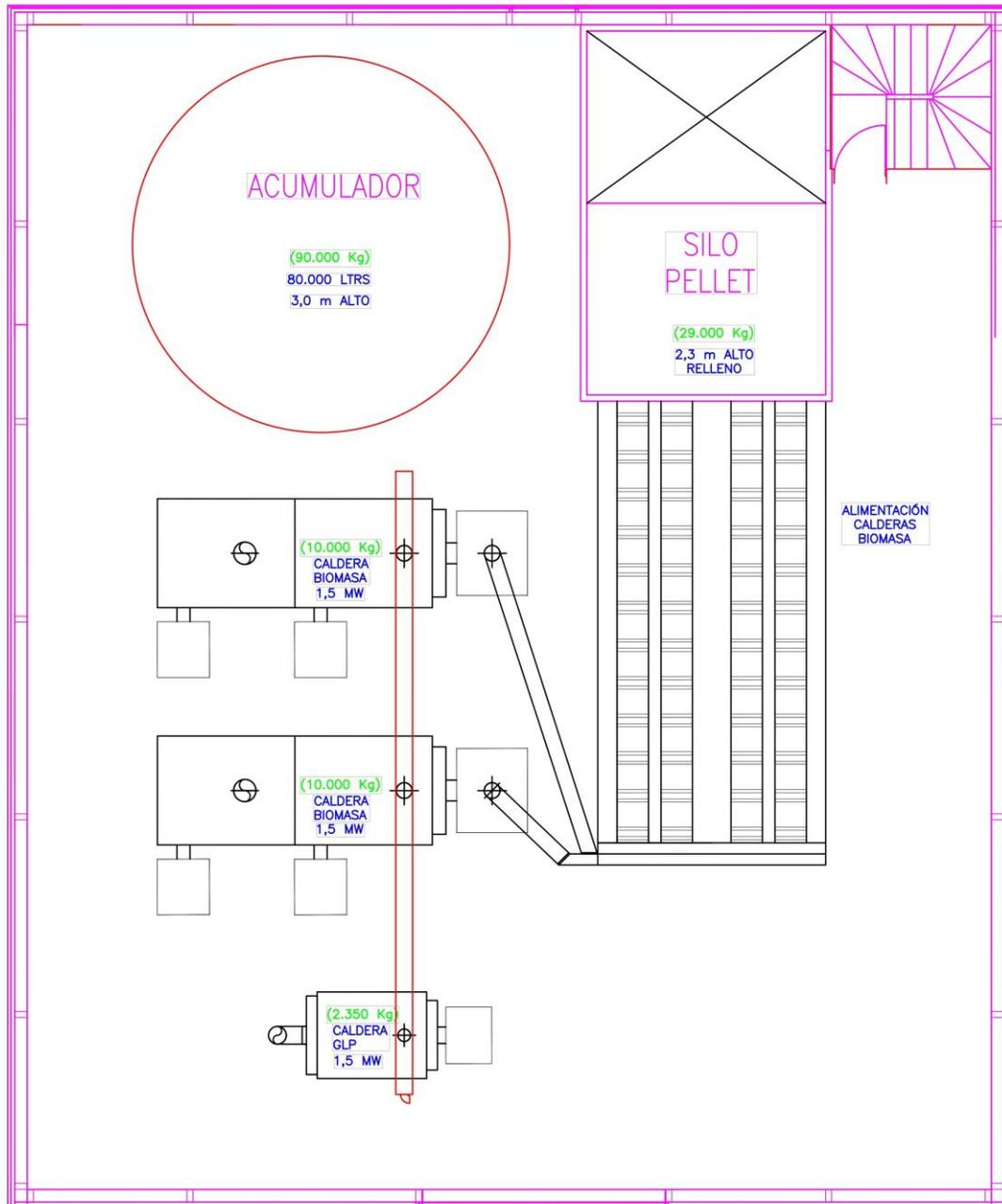


Ilustración 85. Disposición de los Equipos en la sala de calderas



En la Ilustración 85 se tiene un layout de la sala de calderas donde se observa la disposición aproximada de dos calderas de biomasa, cada una de 1,5 MW, junto a la caldera de GLP (de la misma potencia) con el silo de combustible para las calderas de biomasa y el acumulador de energía. Se puede notar que el acumulador tiene un gran tamaño, de hecho, es el equipo crítico en este aspecto dentro de la sala, pues para tener una capacidad de 81 m³ con una altura de 3 metros, debe tener una base de aproximadamente 27 m² de superficie.

Por otro lado, en la Ilustración 86 se muestra la locación de la sala de calderas relativa a la superficie de Equipamiento.

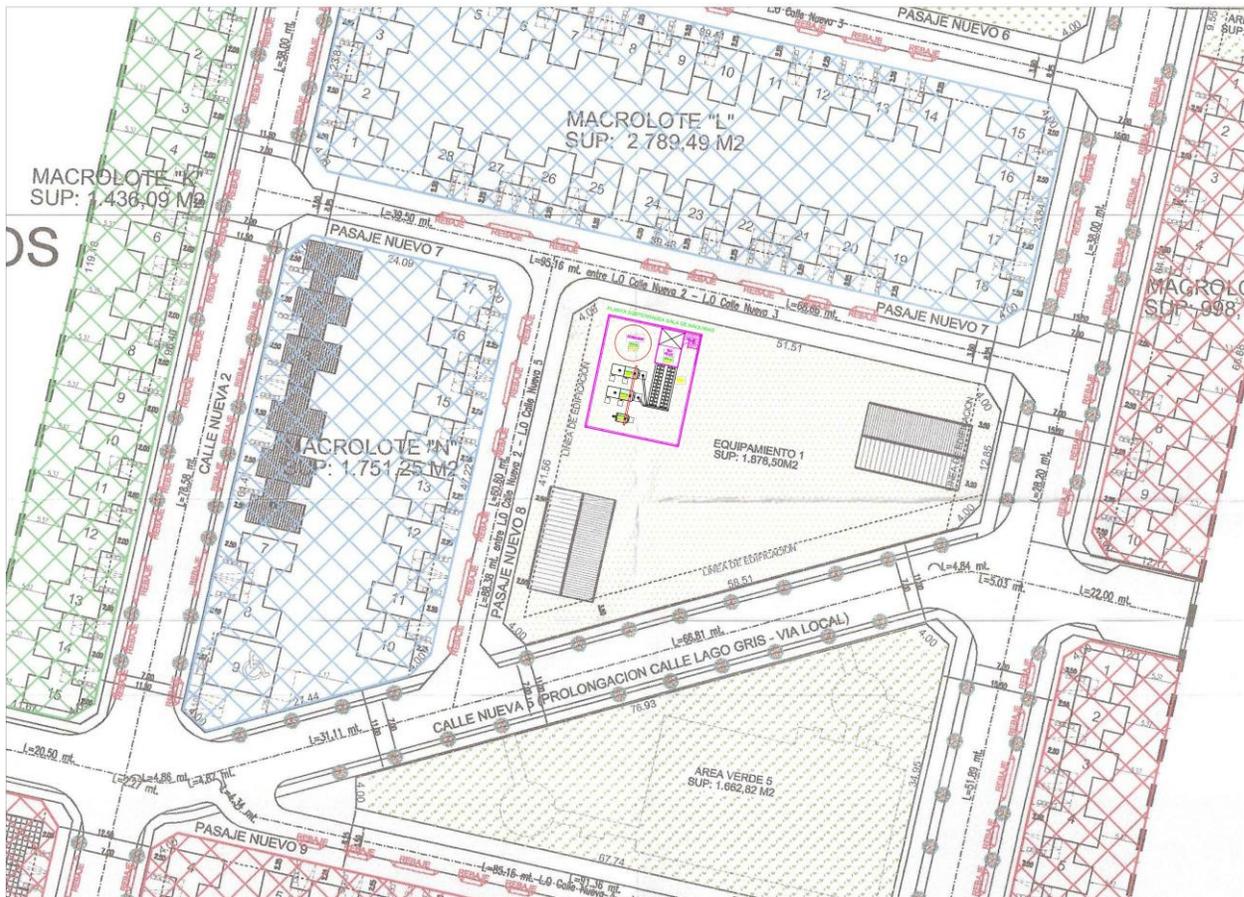


Ilustración 86. Emplazamiento sala de calderas (bajo superficie)



8. MODELO DE NEGOCIOS

Los proyectos de Calefacción Distrital (CD) como parte de un proyecto inmobiliario requieren una visión especial en cuanto a los modelos de negocios que puedan hacer viable su construcción y posterior operación y mantenimiento, sobre todo tratándose de proyectos sociales que serán vendidos a través de subsidios.

Esta singularidad requiere el poder evaluar aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales con una mirada innovadora que permita identificar los potenciales beneficios de aplicar este tipo de proyectos y encontrar la forma de monetizarlos en favor de los distintos actores que participan del proyecto. De esta forma se busca proponer un Modelo de Negocio, que contemple los aspectos de inversión, propiedad, operación, cobro de cuentas y respaldos financieros, que favorezca la toma de decisión de implementar un sistema de calefacción distrital a los distintos “stakeholders” de los proyectos inmobiliarios.

En este sentido, es importante tener en cuenta la situación de la ciudad de Temuco en torno a sus emisiones contaminantes y por ende, a su plan de descontaminación ambiental y las exigencias que esto plantea en términos de climatizar las viviendas y edificios de la ciudad. De esta forma, un proyecto de Calefacción Distrital, capaz de reducir de forma significativa las emisiones de material particulado (producidas en gran medida por la climatización de las viviendas a través del uso de leña húmeda), debería verse favorecido económicamente por el beneficio ambiental y social que genera. Bajo la legislación actual esto sólo puede suceder bajo el supuesto de que el Sistema CD sea capaz de conectar a su red a los potenciales clientes ancla que tengan restricción de emisiones por sus equipos de generación.

Con tal de lograr rentabilizar proyectos de esa índole, se debe considerar entonces la posibilidad de que la red suministre de calor a edificaciones que no sean parte del proyecto inmobiliario y se encuentren en las cercanías del lugar. A estos se les llama “consumidores ancla” y lo ideal es que estos posibles clientes del sistema tengan consumos energéticos altos y de forma constante, permitiendo así tener un consumo basal alto asegurado. Además, se desea que estos no sean “multiusuarios” con tal de poder tener una administración de cobranza simplificada y que reduzca los riesgos financieros del proyecto.

Por otro lado, una variable interesante a considerar también es la posibilidad de utilizar calores residuales de plantas industriales cercanas al proyecto, que permita reducir los costos de producción de calor del sistema, permitiendo tener mejores márgenes operacionales y el poder realizar una mejor segmentación tarifaria de los usuarios residenciales del sistema.

De cara a poder proponer un modelo de negocio adecuado al proyecto seleccionado de Labranza, se plantea la necesidad de definir ciertos actores involucrados al proyecto y los perfiles o roles a desempeñar



por dichos actores, con tal de establecer una matriz de responsabilidades que permita entender las reales posibilidades de implementar un modelo de negocio u otro.

8.1. PERFILES REQUERIDOS

Para que un proyecto como el planteado logre desarrollarse en condiciones se requieren:

1. Necesidad real.
2. Rentabilidad contrastada.
3. Voluntad económica.
4. Voluntad política.
5. Capacidad Técnica.
6. Capacidad financiera.
7. Garantías a largo plazo.

Para que se dé todo ello, se requiere implicar a los distintos actores que puedan asumir los distintos perfiles o roles necesarios, que se pueden resumir en las siguientes tareas:

- a) Desarrollo político y legal del proyecto.
- b) Desarrollo Proyecto Inmobiliario
- c) Suministro de gas natural.
- d) Suministro de Biomasa.
- e) Generación Térmica.
- f) O&M red de calor.
- g) Construcción de Infraestructuras.
- h) Inversión en sistemas de generación (Gx) y distribución (Dx).
- i) Inversión Estatal (Subsidio)
- j) Venta de energía térmica.
- k) Gestión administrativa de venta de energía.
- l) Gestión Arriendo Inmobiliario
- m) Compra de energía.



8.2. ACTORES IDENTIFICADOS

Por otro lado, el listado de actores identificados con participación en el proyecto, concretos o conceptuales, es el siguiente:

1. GORE.
2. SEREMI Vivienda.
3. SEREMI Medio Ambiente.
4. SEREMI Energía.
5. Municipalidad de Temuco.
6. Inmobiliaria regional.
7. Usuarios domésticos (Vecinos).
8. Usuarios Industriales y terciarios.
9. Usuarios Públicos.
10. Proveedores de Biomasa.
11. Proveedores de Gas Natural.
12. Proveedor de calor residual.
13. ESCO's Térmicas.
14. Empresas instaladoras regionales.
15. Constructoras regionales.
16. Inversores.

8.3. IDENTIFICACIÓN DE ROLES POTENCIALES POR ACTORES

En base a los roles requeridos y a los actores identificados, se puede identificar qué roles puede desarrollar cada uno de los actores. Esto se muestra de forma gráfica en la Tabla 38. y se justifica a continuación.

- 1) GORE
 - a) Desarrollo político y legal del proyecto.
 - i) Inversión Estatal (Subsidio)
- 2) SEREMI Vivienda
 - a) Desarrollo político y legal del proyecto.
- 3) SEREMI Medio Ambiente
 - a) Desarrollo político y legal del proyecto.
- 4) SEREMI Energía



- a) Desarrollo político y legal del proyecto.
- 5) Municipalidad de Temuco.
 - a) Desarrollo político y legal del proyecto.
 - b) Desarrollo Proyecto Inmobiliario.
 - e) Generación Térmica.
 - f) O&M red de calor.
 - h) Inversión en sistemas de generación (Gx) y distribución (Dx).
 - i) Inversión Estatal (Subsidio).
 - j) Venta de energía térmica.
 - k) Gestión administrativa de venta de energía.
 - l) Gestión Arriendo Inmobiliario.
 - m) Compra de energía.
- 6) Inmobiliaria regional.
 - b) Desarrollo Proyecto Inmobiliario.
 - e) Generación Térmica.
 - f) O&M red de calor.
 - h) Inversión en sistemas de generación (Gx) y distribución (Dx).
 - j) Venta de energía térmica.
 - k) Gestión administrativa de venta de energía.
 - l) Gestión Arriendo Inmobiliario.
 - m) Compra de energía.
- 7) Usuarios domésticos (Vecinos).
 - m) Compra de energía.
- 8) Usuarios Industriales y terciarios.
 - m) Compra de energía.
- 9) Usuarios Públicos.
 - m) Compra de energía.
- 10) Proveedores de Biomasa.
 - d) Suministro de Biomasa.
- 11) Proveedores de Gas Natural.
 - c) Suministro de Gas Natural
- 12) Proveedor de calor residual.



- e) Generación Térmica
 - j) Venta de Energía Térmica
- 13) ESCO's Térmicas.
- e) Generación Térmica.
 - f) O&M red de calor.
 - h) Inversión en sistemas de generación (Gx) y distribución (Dx).
 - j) Venta de energía térmica.
 - k) Gestión administrativa de venta de energía.
 - m) Compra de energía.
- 14) Empresas instaladoras regionales.
- g) Construcción de Infraestructura
- 15) Constructoras regionales.
- b) Desarrollo Proyecto Inmobiliario.
 - g) Construcción de Infraestructura
- 16) Inversores.
- b) Desarrollo Proyecto Inmobiliario.
 - h) Inversión en sistemas de generación (Gx) y distribución (Dx).

Esto puede ser representado en la matriz de roles de la Tabla 38.



Tabla 38: Matriz de roles o perfiles generales por actor.

Matriz	Desarrollo político y legal del proyecto	Desarrollo Proyecto Inmobiliario	Suministro gas natural	Suministro Biomasa	Generación Térmica	O&M red de calor	Construcc. de Infraestruct	Inversión en sistemas de Gx y Dx	Inversión Estatal	Venta energía térmica	Gestión Adm. de venta de Energía	Gestión Arriendo Inmobiliario	Compra de Energía
GORE	X								X				
SEREMI Vivienda	X												
SEREMI Medio Ambiente	X												
SEREMI Energía	X												
Municipalidad de Temuco	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X
Inmobiliaria regional		X			X	X		X		X	X	X	X
Usuarios domésticos (Vecinos)													X
Usuarios Industriales y terciarios													X
Usuarios Públicos													X
Proveedores de Biomasa				X									
Proveedor de Gas			X		X	X	X	X		X	X		
Proveedor de calor residual					X					X			
ESCO's Térmicas					X	X		X		X	X		X
Empresas instaladoras regionales							X						
Constructoras regionales		X					X						
Inversores		X						X					



8.4. MODELOS DE NEGOCIO

Las distintas permutaciones posibles entre actores y roles factibles por actividad, recogidos anteriormente, podrían dar múltiples modelos de negocio. Sobre su totalidad se han seleccionado preliminarmente y a modo de propuesta inicial tres opciones, que se han considerado interesantes por su ejemplaridad para el caso de desarrollo de proyectos inmobiliarios sociales.

MODELO 1

El primer modelo propuesto se establece como el caso tradicional, donde los roles son asumidos por los actores de la forma que comúnmente el mercado actual dispone. En primer lugar, una inmobiliaria es la que desarrolla el proyecto de edificación, para luego contratar a la constructora que lo ejecute. En este proceso se debe contratar la empresa especialista para el desarrollo y ejecución del proyecto de clima y agua caliente sanitaria (ACS), quedando todo el sistema como parte del equipamiento del proyecto de propiedad de la comunidad.

La Inmobiliaria realiza la venta de los departamentos acogidos al DS49 o DS19, y establece el reglamento de copropiedad a través del cual los propietarios definen la persona jurídica de la “Administración” del edificio, la cual se hará responsable de los gastos y mantenimiento de las instalaciones del edificio. Este rol lo puede tomar empresas de gestión especializadas en el tema. Así mismo, la Administración deberá contratar una empresa externa especializada en la operación y mantenimiento de la Central Térmica y el sistema de redes del sistema de Calefacción Distrital (CD), como también la contratación de operadores de calderas.

Dado este escenario, el modelo se establece como uno de auto gestión del Sistema CD por parte de los propietarios ya que será la “Administración” la encargada de suministrar la energía de forma interna en el condominio, gestionando el cobro de la energía consumida por cada uno de los departamentos. Comúnmente esto se realiza a través del cobro de los gastos comunes del condominio prorrateando, en base a una fórmula matemática, los costos de los combustibles, operación y mantenimiento del sistema.

Este modelo, supone una disminución del precio de la energía, ya que se basa en cubrir los costos del sistema por medio del pago comunitario, evitando los gastos de administración y venta, así como las utilidades que una empresa pudiese cargar al precio de entregar el servicio completo de venta de energía.

En contraparte, el problema radica en que comúnmente este modelo tiende a que los consumidores dejan de utilizar los sistemas de climatización, debido a una mala operación y poca optimización del uso de la energía, traduciéndose en facturaciones muy altas que asumen solo algunos usuarios, generando una desconexión en cadena al sistema. De esta forma, el sistema poco a poco empieza a estar inutilizado y con el tiempo las redes y sistemas se van deteriorando sin que haya un incentivo a mantenerlos u operarlos de



forma eficiente. Esto se debe a que no existe el incentivo técnico ni económico por parte de la Administración de mejorar el “negocio” del sistema de calefacción distrital.

Todo lo anterior se puede resumir en la siguiente matriz de responsabilidad o roles:

Tabla 39: Matriz de roles y perfiles para Modelo 1 de Negocios

Matriz	Desarrollo político y legal del proyecto	Desarrollo Proyecto Inmobiliario	Suministro gas natural	Suministro Biomasa	Generación Térmica	O&M red de calor	Construcción de Infraestructura	Inversión en sistemas de Gx y Dx	Inversión Estatal	Venta energía térmica	Gestión Adm. de venta de energía	Gestión Arriendo Inmobiliario	Compra de energía
GORE	X							X					
SEREMI Vivienda	X							X					
SEREMI Medio Ambiente	X												
SEREMI Energía	X												
Municipalidad de Temuco	X												
Inmobiliaria regional		X						X					
Usuarios domésticos (Vecinos)											X		X
Usuarios Industriales y terciarios													
Usuarios Públicos													
Proveedores de Biomasa				X									
Proveedor de Gas			X										
Proveedor de calor residual					X					X			
ESCO's Térmicas													
Empresas instaladoras regionales							X						

MODELO 2

Este Modelo de negocios es equivalente al anterior excepto porque, ya sea por interés de la Inmobiliaria o por una exigencia municipal (regional), el proyecto contemple el uso de un sistema de Calefacción Distrital, razón por la cual, la inmobiliaria licitará el desarrollo, construcción y operación de un sistema de calefacción distrital para el proyecto en formato ESCO.

Esto significa que la empresa ESCO se adjudica un contrato a un plazo definido para ser el suministrado de la energía térmica del condominio, lo que lo obliga a realizar las inversiones en los sistemas de generación y distribución. Esto podría variar si se desea que una parte de sea de propiedad de la comunidad o no...por



ejemplo, podrían ser las redes de la comunidad y la Central Térmica de la ESCO, o en un porcentaje a determinar, impactando ello en las condiciones de tarifa y plazos del contrato.

Además, la ESCO es la responsable de la gestión de venta de la energía, asumiendo los costos administrativos, de cobranza, costos operacionales y de mantenimiento del sistema. Esto permite ampliar el negocio hacia nuevos clientes anclas y conseguir calor residual de ser factible, permitiendo rentabilizar de mejor forma las inversiones realizadas por la empresa e incentivando a buscar fórmulas técnicas y económicas que fomenten el uso del sistema en forma eficiente por parte de la comunidad, traduciéndose esto en precios de energía más convenientes para los usuarios.

Todo lo anterior se puede resumir en la siguiente matriz de responsabilidad o roles:

Tabla 40: Matriz de roles y perfiles para Modelo 2 de Negocios

Matriz	Desarrollo político y legal del proyecto	Desarrollo Proyecto Inmobiliario	Suministro gas natural	Suministro Biomasa	Generación Térmica	O&M red de calor	Construcción de Infraestructura	Inversión en sistemas de Gx y Dx	Inversión Estatal	Venta energía térmica	Gestión Adm. de venta de energía	Gestión Arriendo Inmobiliario	Compra de energía
GORE	X								X				
SEREMI Vivienda	X								X				
SEREMI Medio Ambiente	X												
SEREMI Energía	X												
Municipalidad de Temuco	X												
Inmobiliaria regional		X											
Usuarios domésticos (Vecinos)													X
Usuarios Industriales y terciarios													X
Usuarios Públicos													X
Proveedores de Biomasa				X									
Proveedor de Gas			X										
Proveedor de calor residual					X					X			
ESCO's Térmicas					X	X		X		X	X		X
Empresas instaladoras regionales							X						
Constructoras regionales		X					X						
Inversores		X						X					



MODELO 3

Este modelo se basa en el hecho de que la municipalidad es propietaria de los terrenos destinados al proyecto inmobiliario y por ende es esta quien asume el rol de inmobiliaria, es decir desarrolla el proyecto y se hace cargo del uso definitivo que tendrá el edificio.

Lo hasta ahora habitual sería que se licite la construcción de condominio y luego la municipalidad otorgue las viviendas a los usuarios a través de las postulaciones a viviendas sociales por medio del MINVU. Este contexto supone viviendas de un menor estándar que los descritos en el DS49, y muy probablemente no sea viable la instalación de un sistema de calefacción distrital, dado su costo de inversión alto en relación a las inversiones totales y, por otro lado, porque estaríamos hablando de clientes con menor poder adquisitivo e implican un mayor riesgo financiero en términos de cobrabilidad de los servicios.

Sin embargo, hoy en día han surgido proyectos donde la Municipalidad ha decidió actuar como inmobiliaria en el desarrollo del proyecto, pero que luego han mantenido su rol de propietario y administrado del condominio, convirtiéndose en “Arrendadores” de las viviendas construidas, y así controlando y eligiendo a los arrendatarios del lugar. Las municipalidades de Recoleta y Las Condes están siendo pioneras en este modelo de desarrollo de proyectos inmobiliarios sociales.

De esta forma, la Municipalidad puede cumplir su rol social, dando acceso a vivienda a familias de bajos recursos, con poco respaldo financiero y que difícilmente pueden justificar ingresos como para poder arrendar de forma privada. Es así como la municipalidad puede asignar recursos a modo de beneficios o descuentos para el pago de los arriendos del inmueble.

En este caso, la Calefacción Distrital si es viable ya que la Municipalidad asume la gestión del suministro de los servicios básicos de los departamentos y a los arrendatarios les cobra como parte del arriendo o en el formato de gastos comunes. En cualquier caso, la Municipalidad hace el rol de Administrador y deberá contratar a una empresa especialista para que realice la operación y mantenimiento del sistema. Será entonces incentivo de la Municipalidad el que el sistema opere de forma eficiente y rentable.

Las inversiones en los sistemas de generación y distribución del sistema distrital pueden ser parte de la inversión estatal para el proyecto de viviendas sociales, como también podrían ser aportadas por una empresa ESCO, adjudicando un contrato de suministro cómo ya ha sido descrito, con el punto a favor de que la ESCO, realizará la venta de energía a un solo cliente que será la Municipalidad, por ende, el riesgo financiero y la gestión del cobro energético lo asume el estado.



Todo lo anterior se puede resumir en la siguiente matriz de responsabilidad o roles:

Tabla 41: Matriz de roles y perfiles para Modelo 3 de Negocios

Matriz	Desarrollo político y legal del proyecto	Desarrollo o Proyecto Inmobiliario	Suministro gas natural	Suministro Biomasa	Generación Térmica	O&M red de calor	Construcción de Infraestructura	Inversión en sistemas de Gx y Dx	Inversión Estatal	Venta energía térmica	Gestión Adm. de venta de energía	Gestión Arriendo Inmobiliario	Compra de energía
GORE	X								X				
SEREMI Vivienda	X								X				
SEREMI Medio Ambiente	X												
SEREMI Energía	X												
Municipalidad de Temuco	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X
Inmobiliaria regional													
Usuarios domésticos (Vecinos)													X
Usuarios Industriales y terciarios													X
Usuarios Públicos													X
Proveedores de Biomasa				X									
Proveedor de Gas			X										
Proveedor de calor residual					X					X			
ESCO's Térmicas					X	X		X		X	X		X
Empresas instaladoras regionales							X						
Constructoras regionales		X					X						
Inversores		X						X					

Por último, en función de la matriz general (Tabla 38), existe la posibilidad de que las empresas suministradoras de gas se involucren en el mercado de la comercialización de la energía, con ello podrían entrar en los modelos de negocio descritos como empresa ESCO o meramente como una empresa capaz de realizar la gestión y administración del negocio de suministro de energía (“comodity”), responsabilizándose de los costos operacionales, la venta de energía y la gestión de cobranza, independientemente de quien sea el propietario de las instalaciones de generación y distribución de la calefacción distrital.



9. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Finalmente se definen los costos del sistema de calefacción distrital en base a las cotizaciones realizadas, detallando los costos de inversión de los de operación y mantenimiento (O&M).

En la Tabla 42 se listan los costos por partida. Se puede observar que existen ciertas partidas que resultan intensivas en gastos de inversión, como son el sistema de generación de calor, la red de distribución y el sistema de conexión de clientes.

Tabla 42: Resumen de costos de sistema de calefacción distrital.

Inversiones		
Red de distribución de Calor	CLP	\$ 319.586.800
Costo por Obra Civil	CLP	\$ 11.382.375
Costo Material	CLP	\$ 35.419.439
Imprevistos	CLP	\$ 4.680.181
Sistema Generación de Calor	CLP	\$ 977.815.402
Calderas de biomasa y accesorios (MW)	CLP	\$ 449.604.998
Calderas de GLP (MW)	CLP	\$ 23.484.959
Acumulación (m3)	CLP	\$ 60.935.863
Edificio Central Térmica (m2)	CLP	\$ 206.743.425
Otros	CLP	\$ 74.076.924
Ingeniería e indirectos	CLP	\$ 81.484.617
Imprevistos	CLP	\$ 81.484.617
Conexión de clientes de calor	CLP	\$ 937.586.714
Costo de Inversión Total	CLP	\$2.234.988.916
Costos Operacionales		
Costo Biomasa	CLP	\$ 184.269.853
Costo GLP	CLP	\$ 35.563.134
Costo Mantenimiento	CLP	\$ 8.775.000
Costo O&M	CLP	\$ 228.607.987



La obra civil de instalación de la red de distribución se encuentra incluida en el valor indicado en la tabla, incluyendo excavación y relleno posterior de la zanja con material seleccionado rodeando la tubería para finalizar relleno con la misma tierra extraída. Además, incluye traslado a vertederos cercanos, etc. Además, se considera que las tuberías se instalarían a 1 metro de profundidad mientras que a la superficie de excavación de la zanja se le agrega un 15% de superficie por sobre el diámetro de la cañería. La Tabla 43 muestra los parámetros considerados para el cálculo de los costos de la instalación de las tuberías que conforman la red de distribución.

Tabla 43: Parámetros utilizados para cálculo de costos por obra civil de instalación de red de distribución

Obra Civil	Unidad	CLP
Demolición Pavimento	<i>m2</i>	\$ 5.168
Excavación en zanja	<i>m3</i>	\$ 7.012
Carga y transporte a vertedero autorizado	<i>m3</i>	\$ 3.697
Extendido de cama de nivelación	<i>m3</i>	\$ 31.943
Relleno de zanja con material seleccionado	<i>m3</i>	\$ 31.943
Relleno de zanja con material de la propia excavación	<i>m3</i>	\$ 4.277
Pavimentación	<i>m2</i>	\$ 9.476

A continuación, se adjuntan cotizaciones tanto de calderas de biomasa ajustadas a la potencia requerida en el sistema, como de los sistemas de interconexión de clientes.



COTIZACIÓN CALDERAS



Santiago, 15 de Octubre, 2019

Estimada
Catalina Bravo Inostroza
Ingeniera de Proyectos – AIGUASOL INGENIERIA
Santiago CHILE

Junto con saludar, le estoy enviando nuestra cotización de las Calderas SMART para el proyecto conceptual de Calefacción Distrital para una parte de la ciudad LABRANZA. Según lo que Ud. Me ha informado, estiman instalar unos 4 – 5 MGWt y el combustible va a ser pellets de biomasa.

Nosotros proponemos establecer dos centrales térmicas, cada una en extrema parte del distrito que va a tener la calefacción distrital. Esto es para disminuir las pérdidas térmicas por las distancias de la red.

Cada Central térmica va a tener :

4 Calderas SMART DUAL con potencia 525 KW cada una, instalando 4 en cascada la potencia instalada total será 2,1 mWt, quiere decir por dos Centrales térmicas vamos a tener potencia instalada 4,2 MGWt.

El funcionamiento de calderas es automático, utilizando el software de SIEMENS y ofrece al utilizador el máximo confort. El control se puede efectuar vía teléfono SMART o vía PC.

Las calderas son acompañadas por una sonda lambda, por un sistema para el transporte automático de la ceniza y ciclón para la separación de las partículas de los humos de escape. Las calderas son DUAL, significa que pueden utilizar tanto pellets como chips de madera.

El precio de una caldera SMART incluyendo ciclón y extracción - transporte automático de ceniza representa Ex Work: EUR 80.000,- El precio de transporte de 8 calderas ofrecidas desde Fabrica hasta Labranza representa EUR 12.000,- Estos precios son de IVA.

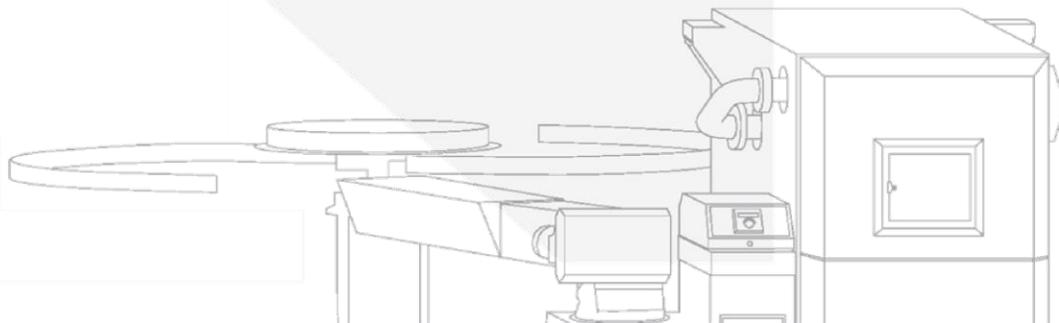
Los precios restantes de más componentes se pueden cotizar cuando se va a conocer más detalles del proyecto.

En el anexo del correo le voy a enviar algunas soluciones de Salas de Calderas para Calefacción Distrital. Fabricamos también los Silos subterráneos, horizontales o verticales. Contamos con técnicos propios, instalamos en forma Llave en mano.

En caso de necesitar algunos datos más, pueden contactarme

Atentamente

Jan Sabo
Director de Venta para América Latina





COTIZACIÓN EQUIPOS DE CONEXIÓN A VIVIENDAS



Danfoss Industrias Ltda.

Srs.
Att. Sr.

Fono:
E-mail:

Av. Del Valle 577 Of 203
Ciudad Empresarial, Huechuraba
Santiago - Chile
Teléfono: +56 2 897-8821
Telefax: +56 2 739 1055
E-mail: chile@danfoss.com

Su ref./Your ref. Nuestra ref./Our ref. Fecha/Date 22/05/2019 Teléfono/Direct dialing

Estimados Señores, Aiguasol

De acuerdo a lo solicitado, tenemos el agrado de presentarles nuestra oferta:

Item	Código	Descripción	Cantidad	Precio EU\$ Unitario	Total EU\$
1	004U3090	Termix VMTD-F-I-1 FI fully insulated	1	1001,7	1001,7
2	004U8312	Termix VMTD-F-I-1 sin la Cubierta	1	792	792
3					
4					
5					

Condiciones Comerciales:

Tipo de cambio: Euro observado equivalente en moneda nacional al día de facturación y no incluye I.V.A.

Plazo de entrega :

Lugar de entrega : Nuestras bodegas o previo acuerdo para despacho a regiones.

Forma de pago :

Descuentos : No incluidos en los precios cotizados.

Garantía : A confirmar dependiendo del periodo de fabricación de cada pieza.

Validez de la oferta : 1 mes.

Sin otro particular, y esperando una favorable acogida, les saluda atentamente,



10. EVALUACIÓN COMPARATIVA SISTEMAS

10.1. CONDICIONES DE DISEÑO

La metodología general de evaluación de sistemas contempla una serie de etapas necesarias para que cada uno de los escenarios a comparar se encuentre bajo las mismas condiciones, con el fin de concluir de forma efectiva.

En primer lugar, se deben establecer las condiciones de demanda y potencia que deben suplir todas las alternativas. De acuerdo con la simulación de demandas realizada para todas las viviendas del conjunto habitacional en estudio, la Ilustración 87, presenta la curva monótona de la demanda de energía requerida al sistema, la cual presenta las horas del año ordenadas según el nivel de potencia (de mayor a menor) requerida en cada una. Este gráfico permite definir cuál será la potencia de la tecnología que cubre la demanda basal versus la que cubra la potencia “peak”, así como también, cuál será el diseño de los sistemas de acumulación, de corto o de medio plazo. Como se observa en la ilustración, la potencia máxima alcanzada por la demanda de energía de las casas es de 11,81 kW. Sin embargo, se puede notar que aproximadamente un 95% del tiempo el sistema requiere una potencia igual o inferior a 8,63 kW. De esta forma y para evitar el sobredimensionamiento del sistema, la potencia de diseño se considera aquella que alcanza a cubrir un 95% del tiempo los peaks de demanda. De la misma forma, de la Ilustración 88 se elige la potencia de diseño para los departamentos, como aquella bajo la cual los peaks de demanda se cubren el 95% del tiempo.

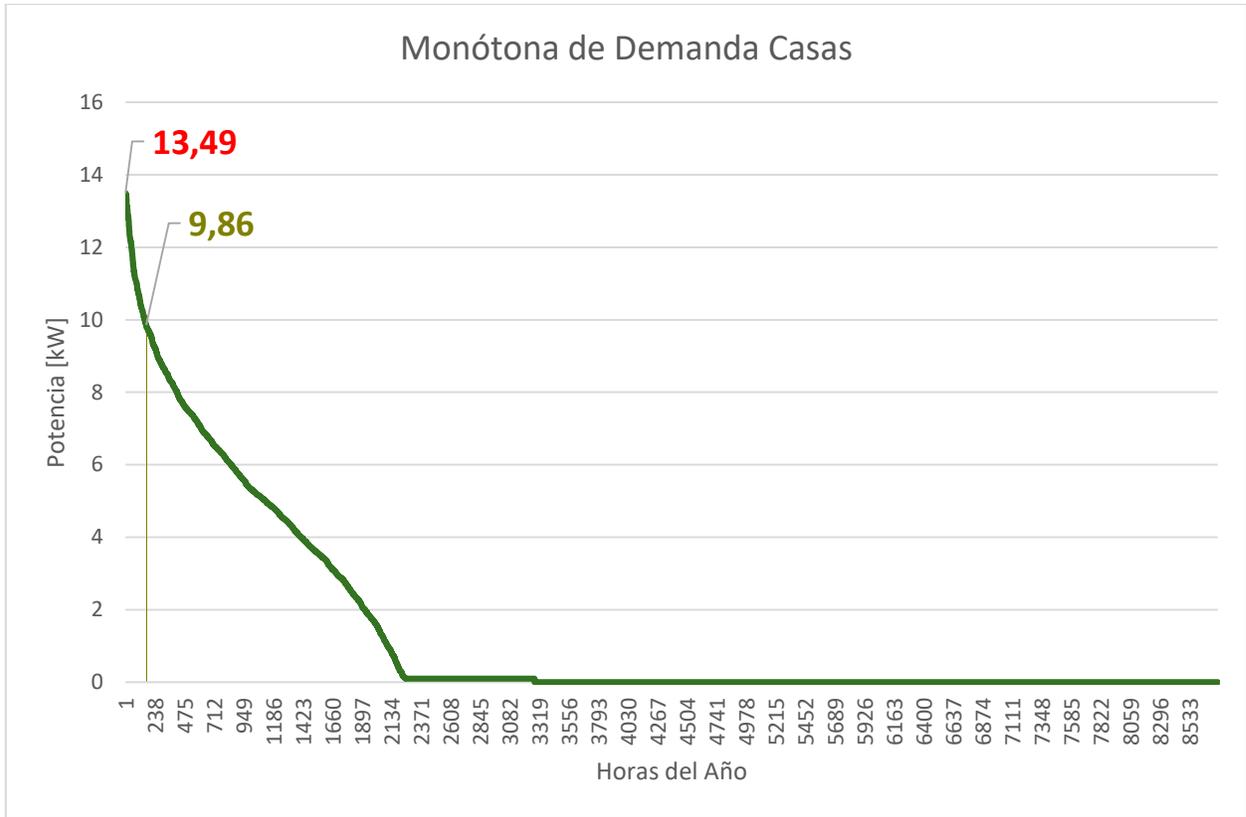


Ilustración 87. Curva monótona de demanda casas



Ilustración 88. Curva monótona de demanda departamentos



Para el caso de la demanda de ACS, la potencia de diseño de los sistemas corresponde a la máxima potencia requerida, de forma de dar cumplimiento a los peaks de demanda durante todo el año.

Tomando estas consideraciones, las potencias de diseño de casas y departamentos para el dimensionamiento de los sistemas se indica en la Tabla 44.

Tabla 44. Potencia de diseño por tipo de vivienda

	Potencia de Calefacción [kW]	Potencia de ACS [kW]
Casas	9,86	3,49
Departamentos	5,63	2,61

10.2. DIMENSIONAMIENTO DE CASO BASE

Para la realización de una evaluación comparativa de distintos sistemas de calefacción y ACS, se establece un caso base para la comparación, el cual permite establecer un escenario fijo contra el cual se puedan contrastar las ventajas y desventajas, así como los beneficios o costos sociales, de las soluciones alternativas propuestas. El caso base consiste en una solución como la que indica la Tabla 45.

Tabla 45. Descripción sistema caso base.

	Calefacción	ACS
Casas	Estufas a leña	Calefont a Gas Licuado
Departamentos	Estufas a parafina	Calefont a Gas Licuado

Como se indica en la tabla, se tienen soluciones distintas para las casas y departamentos, atendiendo a la realidad local de la comuna de Temuco y a las limitaciones propias de las construcciones, como en el caso de los departamentos.

CASAS

En el caso de las casas, se necesita dimensionar una estufa a leña, la que debe tener una capacidad mínima de 9,86 kW. En el mercado, se encuentra el equipo cuyas características se indican en la Tabla 46. El aporte del equipo y su consumo, en relación con la demanda de calefacción se muestran en la Ilustración 89.



Tabla 46. Características estufa a leña

Concepto	Unidad	Valor
Modelo		Bosca Limit 360
Precio de Venta Equipo s/IVA	CLP	\$ 193.269
Potencia estufa leña	kcal/hr	8598
Potencia estufa leña	kW	9,99
Tipo de Combustible		Leña Seca
Cobertura de la demanda	%	98%
Rendimiento	%	71%

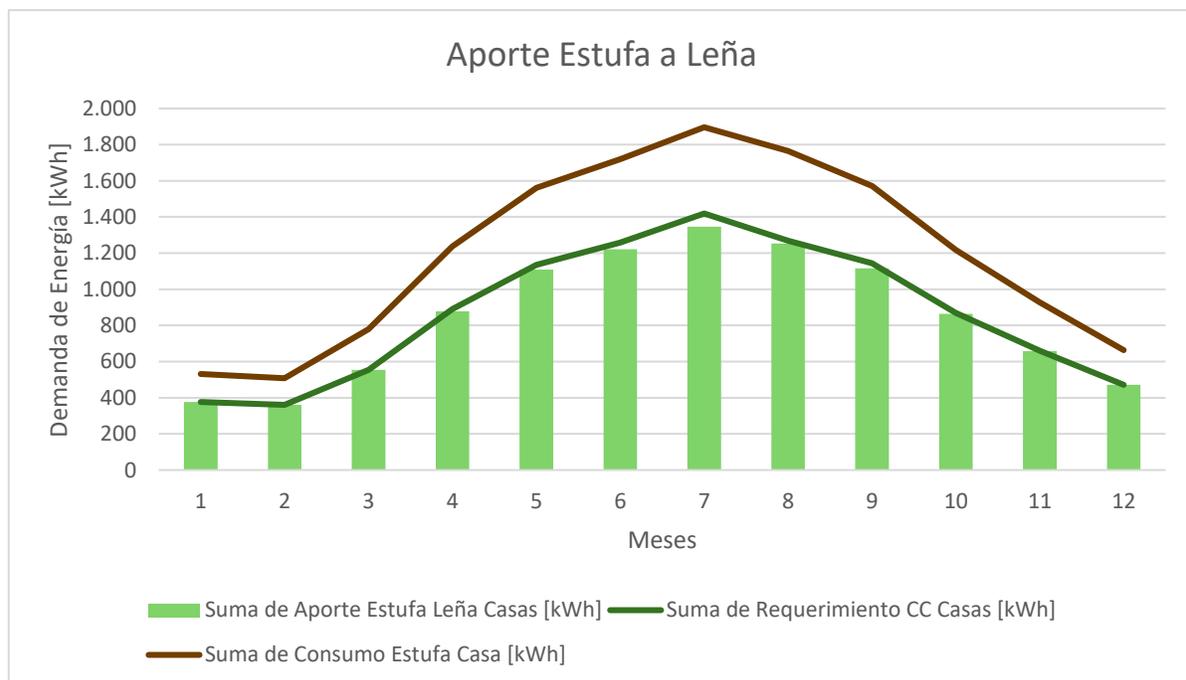


Ilustración 89. Aporte y consumo de la estufa a leña en casas, en relación a la demanda de energía.

Se observa de la Ilustración 89 que algunos meses, especialmente en los meses de invierno, el aporte de la estufa a leña es levemente inferior al requerimiento de calefacción de las casas. Esto se explicita en la Tabla 46, donde se indica que la cobertura a la demanda de la estufa es de un 98%. Esto se debe a que, al dimensionar el equipo, se considera una potencia de cumplimiento al 95% del tiempo, como se mencionó previamente al explicar la gráfica de la Ilustración 87. Por otro lado, la curva de “Consumo estufa Casa”, indica el consumo de energía, en kWh, del equipo de calefacción. El consumo está dado por la relación entre el aporte en energía y el rendimiento del equipo, donde a menor rendimiento, mayor es el consumo de energía en relación a la energía realmente aportada.



En cuanto al calefont a gas licuado utilizado para la demanda de ACS, su capacidad de diseño se elige por litros de acuerdo al uso requerido de agua caliente en simultáneo, de la forma que indica la Ilustración 90.

Necesita Agua Caliente en:		5 Litros	7 Litros	8 Litros	10 Litros	11 Litros	13 Litros	14 Litros	16 Litros
Un artefacto	1 Lavamanos 3,5 lt/min	●	●	●	●	●	●	●	●
	1 Lavaplatos 4 lt/min	●	●	●	●	●	●	●	●
	1 Ducha 7,5 lt/min	●	●	●	●	●	●	●	●
	1 Tina 10 lt/min		●	●	●	●	●	●	●
Varios artefactos	1 Ducha + 1 Lavamanos				●	●	●	●	●
	1 Ducha + 1 Lavaplatos				●	●	●	●	●
	1 Ducha + 1 Lavamanos + 1 Lavaplatos				●	●	●	●	●
	1 Tina + 1 Ducha + 1 Lavamanos					●	●	●	●
	1 Tina + 1 Ducha + 1 Lavaplatos						●	●	●

Cálculos realizados considerando una diferencia de temperatura de 25°C entre la entrada de agua al calefón y la salida del artefacto en casa.

● Óptimo ● Recomendado

Ilustración 90. Capacidad en litros recomendada para un calefont a gas licuado.

Dado que las casas que forman parte del conjunto habitacional tienen 3 habitaciones y un baño, se supone que su demanda requerirá de al menos una ducha y un lavaplatos en simultáneo, por lo que se opta por elegir un equipo de 10 litros de capacidad. Las características del equipo se indican en la Tabla 47

Tabla 47. Características calefont GLP

Concepto	Unidad	Valor
Modelo		Splendid 10LT GL Ionizado Tiro Natural
Precio de Venta Equipo s/IVA	CLP	\$ 92.429
Capacidad	Lt.	10
Tipo de Combustible		GLP
Cobertura de la demanda	%	100%
Rendimiento	%	35%



Respecto al rendimiento del calefont, se observa que este es bastante menor a los rendimientos informados por los fabricantes. Esto se debe a que se consideró que el rendimiento baja de acuerdo a una curva en función de la utilización del calefont en una hora. Esto se justifica pues viendo el funcionamiento del calefont como una caldera, éstas tienden a bajar su eficiencia cuando pasan por ciclos de prendido y apagado demasiado cortos. Se analizó su comportamiento hora a hora, entregando como rendimiento promedio el indicado en la tabla anterior. La curva bajo la que se ajusta su rendimiento se encuentra en la Ilustración 91

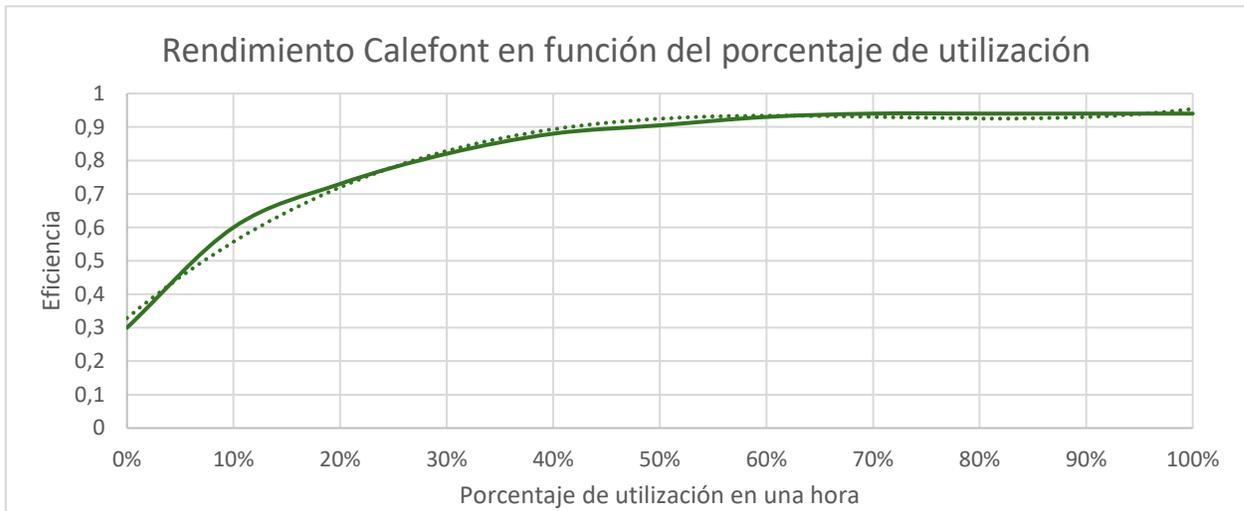


Ilustración 91. Curva de eficiencia del calefont en función del porcentaje de utilización

DEPARTAMENTOS

En el caso de los departamentos, se necesita dimensionar una estufa a parafina, la que debe tener una capacidad mínima de 5,63 kW. En el mercado, se encuentra el equipo cuyas características se indican en la Tabla 48 El aporte del equipo y su consumo, en relación a la demanda de calefacción se muestran en la Ilustración 89.

Tabla 48. Características estufa a parafina

Concepto	Unidad	Valor
Modelo		Fensa VOLCANO 6800
Potencia estufa parafina	kcal/hr	5330
Potencia estufa parafina	kW	6,19
Tipo de Combustible		Parafina
Precio s/IVA	CLP	\$ 117.639
Cobertura de la demanda	%	99%
Rendimiento	%	80%

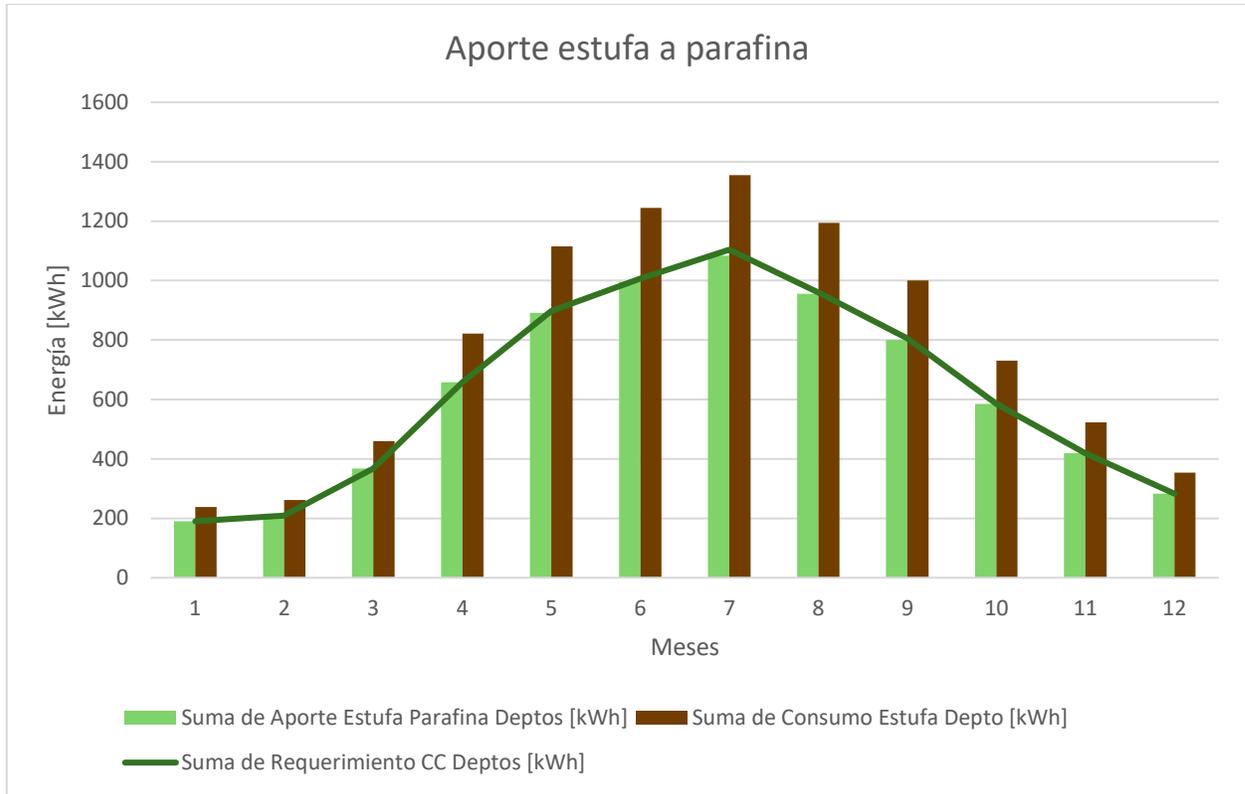


Ilustración 92. Aporte y consumo de la estufa a parafina en departamentos, en relación a la demanda de energía.

En cuanto al calefont a gas licuado utilizado para la demanda de ACS, y al igual que las casas, su capacidad de diseño se elige por litros de acuerdo al uso requerido de agua caliente en simultáneo, de la forma que indica la Ilustración 90.

Dado que los departamentos que forman parte del conjunto habitacional tienen 3 habitaciones y un baño, se supone que su demanda requerirá de al menos una ducha y un lavaplatos en simultáneo, por lo que se opta por elegir un equipo de 10 litros de capacidad. Las características del equipo se indican en la Tabla 49.

Tabla 49. Características calefont GLP

Concepto	Unidad	Valor
Modelo		Mademsa Forza 10 lt Tiro Forzado
Capacidad	Lt.	10
Tipo de Combustible		GLP
Precio s/IVA	CLP	\$ 109.235
Cobertura de la demanda	%	100%
Rendimiento	%	35%



10.3. PROPUESTA SISTEMAS ALTERNATIVOS

Como sistemas alternativos de calefacción individual de las viviendas se han propuesto tres soluciones, las que contemplan una alternativa de generación a base de energía renovable. Las soluciones propuestas se detallan en las tablas a continuación, las que se separan en soluciones para casas y departamentos.

Tabla 50. Propuesta soluciones para Casas

	Calefacción	ACS
Caso 1: SolarT-E	Sistema Solar Térmico + Estufa a pellet + Calefont Solar	
Caso 2: PV-SP	Split Inverter	Fotovoltaico + Acumulador de ACS eléctrico
Caso 3: DH	Distrital	

Tabla 51. Propuesta soluciones para Departamentos

	Calefacción	ACS
Caso 1: SolarT-E	Sistema Solar Térmico + Estufas a Parafina con ducto de gases al exterior + Calefont Solar	
Caso 2: PV-SP	Split Inverter	Fotovoltaico + Acumulador de ACS eléctrico
Caso 3: DH	Distrital	

10.3.1. CASO ALTERNATIVO 1: SISTEMA SOLAR TÉRMICO + ACUMULADOR + ESTUFA + CALEFONT SOLAR

El primer caso alternativo para el conjunto habitacional de casas considera la instalación de un sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria, y la instalación de estufas a pellet para el suministro de calefacción. En cuanto a los departamentos, se contempla un sistema solar térmico comunitario en los edificios para el suministro de ACS, y la instalación de estufas a parafinas con ducto de gases al exterior para el abastecimiento de calefacción para cada departamento.

A continuación, se explican las bases y resultados del dimensionamiento de los sistemas de suministro de ACS y calefacción realizado para el conjunto habitacional de casas y departamentos.



CASAS

En lo que respecta calefacción, se seleccionó una estufa cuya potencia térmica fuera igual o superior a los 9,86 kWt obtenidos de la monótona asociada a viviendas. Con ello, se seleccionó un equipo de 10,2 kWt de potencia térmica, el cual se empleó para la simulación horaria de suministro de calor. Los resultados obtenidos de dicha simulación se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52. Resultados de calefacción por vivienda. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	10,2
Horas de funcionamiento	hr	3.281
Demanda cubierta	kWh/año	11.370,14
Cobertura	%	96%
Consumo energético anual	kWh/año	13.484,94
Rendimiento anual	%	84

Como es posible apreciar de la Tabla 52, la estufa a pellet genera 11.370, 14 kWh al año cubriendo un 96% de la demanda térmica por vivienda, lo cual es un 1% mayor al percentil seleccionado para el dimensionamiento de estos sistemas.

En cuanto al suministro de agua caliente sanitaria, el sistema solar térmico considera un sistema de acumulación además de un Calefont Solar como sistema auxiliar complementario, con la cual es posible abastecer la demanda de ACS en un 100%. Los parámetros de diseño resultantes de esta condición se detallan en la Tabla 53.

Tabla 53. Parámetros sistema de ACS. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Acumulación (energía)	kWh	8,36
Acumulación	L	180
Altura Acumulador	m	1
Pérdidas Acumulación	%	0,45
Radio	m	0,24
Pérdidas térmicas estanque aislado	W/m ²	20
Potencia calefont auxiliar	kW	4,1
Eficiencia Nom. Calefont	%	0,85
Acumulación mínima encendido	kWh	6,27

En cuanto al sistema solar térmico, este presenta las características que se indican en la Tabla 54.



Tabla 54. Parámetros de diseño de Sistema Solar Térmico. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Superficie paneles	m ²	2,3
N° paneles	-	1
Superficie total	m ²	2,3
Potencia SST	kW	1,61

Posteriormente, dichos valores fueron empleados en la simulación horaria de la producción de ACS, obteniendo los resultados que se indican en la Tabla 55.

Tabla 55. Resultados simulación SST. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Aporte SST	kWh/año	1.527,59
Aporte calefont	kWh/año	499,6
Cobertura demanda	%	100
Factor Solar	%	76
Horas de funcionamiento SST	hr	2.805
Horas de Acumulador	hr	1.532
Consumo calefont	kWh/año	587,75

Como es posible apreciar de la Tabla 55, con este sistema se cubre la demanda de agua caliente sanitaria anual de una vivienda. Esto se puede reflejar además en la Ilustración 93, donde se muestran las curvas de ACS correspondientes a un día arbitrario de invierno (24 de julio), que corresponde al mes con mayor consumo de ACS.

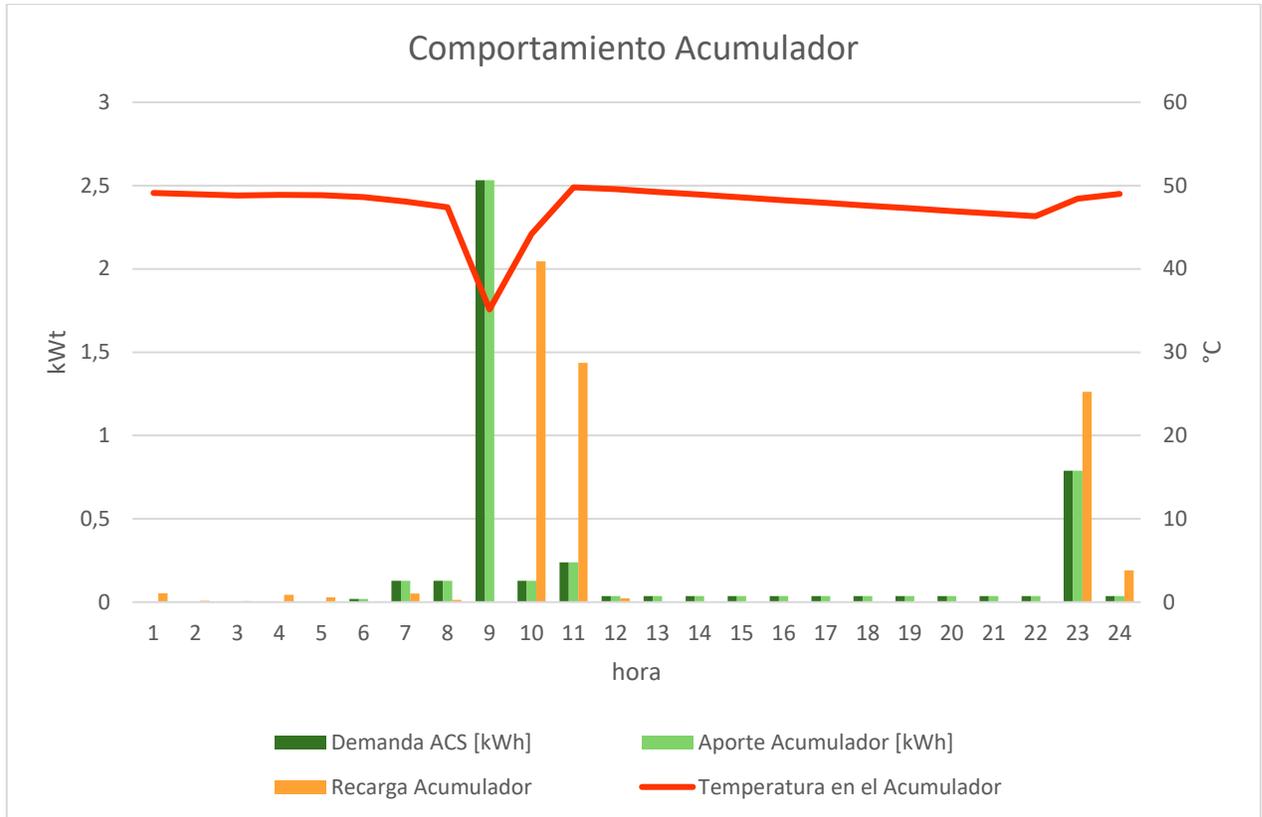


Ilustración 93. Curvas de ACS para día de invierno en casas. Caso alternativo 1

Como puede observarse de esta gráfica, la demanda de ACS es cubierta completamente por este sistema alternativo. Por otro lado, se aprecia que la temperatura de suministro oscila entre los 50 y 35°C, siendo este mínimo provocado por el ingreso de agua de red al sistema de acumulación mientras se cubre la demanda.

En la Ilustración 94 se muestra el comportamiento de la temperatura de suministro de agua caliente sanitaria proveniente del sistema de acumulación, donde se observa que esta temperatura decrece a los 40°C debido a la influencia de la temperatura ambiente en el agua de red que ingresa a dichos sistemas.

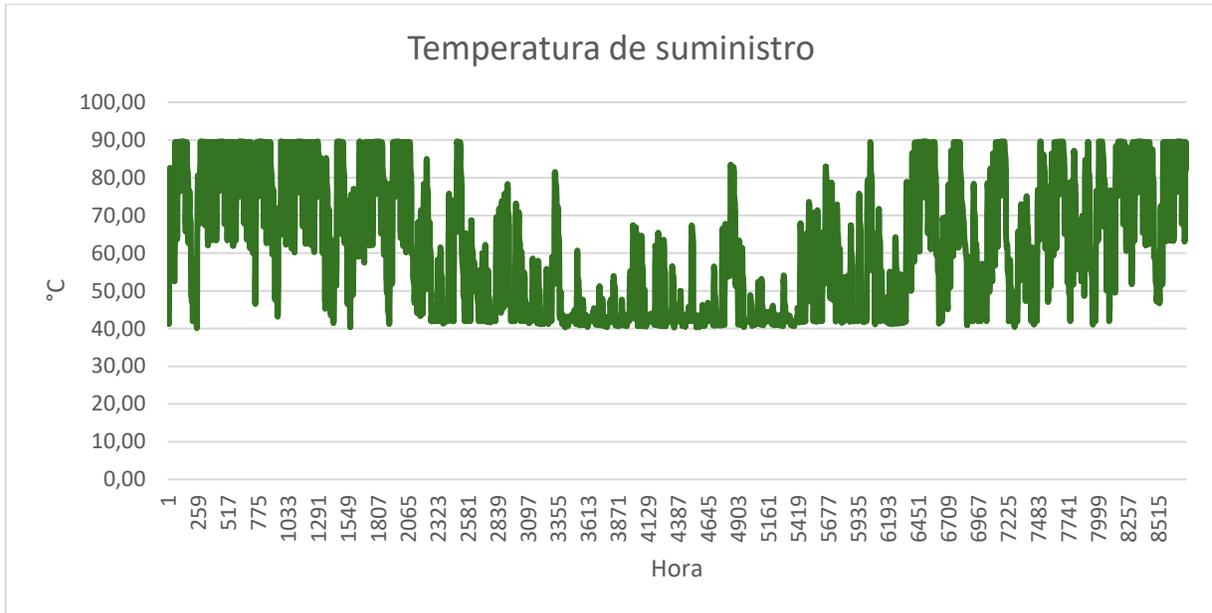


Ilustración 94. Temperatura de suministro de ACS. Caso alternativo 1

DEPARTAMENTOS

Como se menciona anteriormente, el sistema de calefacción empleado para el conjunto de departamentos corresponde a una estufa a parafina, la cual se seleccionó considerando como criterio que su capacidad térmica fuera igual o superior a los 5,63 kWt obtenidos de la monótona asociada a departamentos. Con ello, se seleccionó un equipo de 7 kWt de potencia térmica, el cual se empleó para la simulación horaria de suministro de calor. Los resultados obtenidos de dicha simulación se muestran a continuación.

Tabla 56. Resultados de calefacción por departamento. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	7
Horas de funcionamiento	hr	3.196
Demanda cubierta	kWh	7.259,12
Cobertura	%	97%
Consumo energético anual	kWh	8.662,12
Rendimiento anual	%	84

Como es posible apreciar de la Tabla 56, la estufa a parafina genera 7.259,12 kWh al año cubriendo un 97% de la demanda térmica por departamento, lo cual es un 2% mayor al percentil seleccionado para el dimensionamiento de estos sistemas.



Respecto al sistema de suministro de ACS, se contempló la instalación de un sistema solar térmico que permitiera abastecer a un edificio completo, complementado con un sistema de acumulación y una caldera auxiliar que permitiera asegurar el abastecimiento del 100% de la demanda de ACS. Los parámetros de diseño resultantes de esta condición se detallan a continuación.

Tabla 57. Parámetros sistema de ACS. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Acumulación (energía)	kWh	371,56
Acumulación	L	8.000
Altura Acumulador	M	2,50
Pérdidas Acumulación	%	0,12
Radio	m	1,01
Pérdidas térmicas estanque aislado	W/m ²	20
Potencia caldera auxiliar	kW	200
Eficiencia Nom Caldera	%	0,85

Respecto al sistema solar térmico contemplado, este presenta las siguientes características.

Tabla 58. Parámetros de diseño de Sistema Solar Térmico. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Superficie paneles	m ²	2,3
N° paneles	-	64
Superficie total	m ²	148,5
Potencia SST	kW	103,9

Los valores de la Tabla 57 y Tabla 61 fueron empleados posteriormente en la simulación horaria de la producción de ACS, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 59. Resultados simulación SST. Caso alternativo 1

Variable	Unidad	Valor
Aporte SST	kWh/año	79.598,8
Aporte caldera	kWh/año	22.308,8
Cobertura demanda	%	100
Factor Solar	%	78
Horas de funcionamiento SST	hr	2.805
Horas de Acumulador	hr	1.191
Consumo caldera	kWh/año	26.245,65



Como es posible apreciar de la Tabla 59, con este sistema se cubre la demanda de agua caliente sanitaria anual de todos los departamentos que son parte de un edificio. Para visualizar esto con mayor detalle, se expone a continuación una gráfica que muestra las curvas de demanda y suministro de ACS considerando el mismo día que en el caso de las casas.

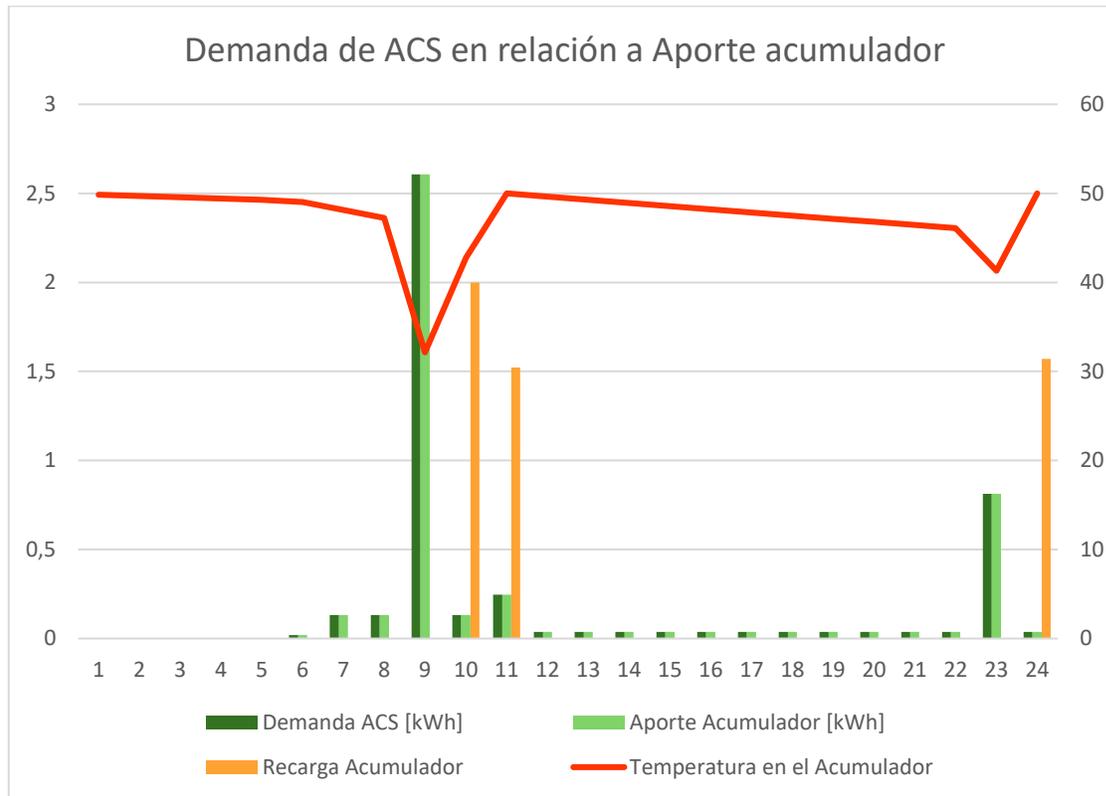


Ilustración 95. Curvas de ACS para día de invierno en departamentos. Caso alternativo 1

Como puede observarse, la demanda de ACS es cubierta completamente por este sistema. Por otro lado, se aprecia que la temperatura de suministro oscila entre los 50 y 32°C, siendo este mínimo provocado por el ingreso de agua de red al sistema de acumulación mientras se cubre la demanda.

En la Ilustración 98 se muestra el comportamiento de la temperatura de suministro de agua caliente sanitaria proveniente del sistema de acumulación de un departamento, donde se observa que esta temperatura decrece a los 38°C debido a la influencia de la temperatura ambiente en el agua de red que ingresa a dichos sistemas.

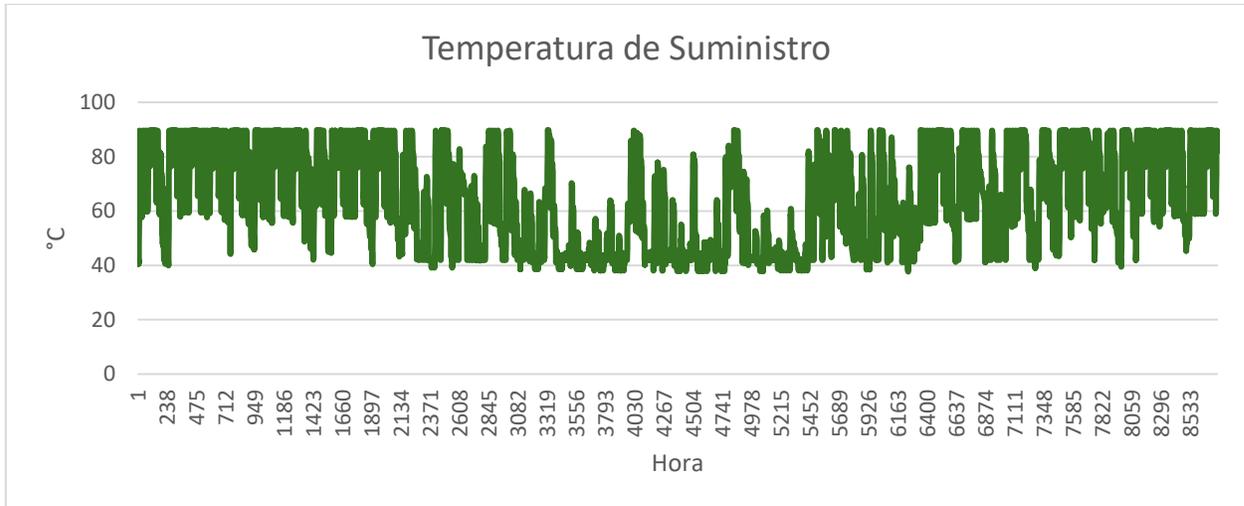


Ilustración 96. Temperatura de suministro de ACS. Caso alternativo 1

10.3.2. CASO ALTERNATIVO 2: SISTEMA FOTOVOLTAICO + ACUMULADORES ELÉCTRICOS Y SPLIT

El segundo caso alternativo para el conjunto habitacional de casas y departamentos contempla la instalación de equipos de aire acondicionado tipo Split para el suministro de calefacción, y la instalación de acumuladores eléctricos para la provisión de Agua Caliente Sanitaria en dichas dependencias. Adicionalmente, esta solución considera un sistema complementario de abastecimiento eléctrico basado en sistemas fotovoltaicos (PV) on-grid.

A continuación, se explican las bases y resultados del dimensionamiento realizado para el conjunto habitacional de casas y departamentos.

CASAS

Calefacción y ACS

En primer lugar, se realizó el dimensionamiento del sistema de calefacción basado en equipos Split, lo cual consideró como requisito que dichos equipos pudieran abastecer la potencia térmica de diseño de 9,8 kWt. Por otra parte, como estos equipos poseen capacidades de calefacción estandarizadas, se utilizó como variable tanto su potencia de diseño como también el número de equipos que pudieran dar cumplimiento con la restricción mencionada.

A continuación, se presenta la tabla de potencias térmicas asociadas a los equipos Split que se encuentran en el mercado.



Tabla 60. Capacidades Split

Potencia Split (BTU/hr)	Potencia Split (kWt)
9.000	2,64
12.000	3,52
18.000	5,28
24.000	7,03

Considerando lo anterior, se plantearon las soluciones que se muestran en la Tabla 61, lo cual se realizó segregando entre el primer y segundo piso de la vivienda.

Tabla 61. Soluciones asociadas a calefacción

1° Piso	Potencia Térmica kWt	2° Piso	Potencia Térmica kWt
Demanda	3,90	Demanda	5,96
Solución 1: 2 x 9.000 BTU	5,28	Solución 1: 2 x 9.000	5,28
Solución 2: 1 x 12.000	3,52	Solución 2: 1 x 18.000	5,28
Solución 3: 1 x 18.000	5,28	Solución 3: 1 x 24.000	7,03
		Solución 4: 1 x 9.000 + 12.000	6,15

Dentro de estas soluciones, se seleccionó el escenario en donde se cuenta con un equipo Split de 18.000 BTU/hr en el primer piso de la vivienda, y dos equipos de 9.000 BTU/hr en el segundo piso, lo cual suma una potencia térmica instalada de 10,55 kWt. Considerando este parámetro, posteriormente se evaluó el abastecimiento térmico en base a la demanda horaria de calefacción, de lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 62.

Tabla 62. Resultados vivienda

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	10,55
Horas de funcionamiento	hr	3.127
Demanda cubierta	kWh	11.687
Cobertura	%	98%
Consumo eléctrico anual	kWh	3.951
COP anual	Ratio	2,96

Como es posible apreciar de esta última tabla, la solución propuesta para calefacción permite suministrar 11.687 kWh, lo cual se traduce en un 98% de cobertura respecto a la demanda anual. Asimismo, se obtiene



su consumo eléctrico asociado, el cual corresponde a 3,951 kWh eléctricos, y con el cual se obtiene un COP anual equivalente a 2,96.

En cuanto al suministro de agua caliente sanitaria, el dimensionamiento del sistema afín se realizó considerando como restricción el cubrimiento del 100% de la demanda, además de lograr el suministro de agua caliente a una temperatura adecuada para el confort de las personas. Con ello, se obtuvieron los siguientes parámetros de diseño que dieron cumplimiento a estas restricciones.

Tabla 63. Parámetros acumulador

Variable	Unidad	Valor
Acumulación (energía)	kWh	8,36
Acumulación	L	180
Altura Acumulador	M	1,20
Pérdidas Acumulación	%	0,39
Radio	m	0,22
Pérdidas térmicas estanque aislado	W/m ²	20
Diferencia de Temperatura	°C	40
Potencia Resistencia Eléctrica	kW	2,5

Considerando estos parámetros y la demanda horaria de ACS por vivienda, se obtuvieron los siguientes resultados asociados al acumulador eléctrico.

Tabla 64. Resultados ACS

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	8,36
Horas de funcionamiento	hr	993
Demanda cubierta	kWh	1.607,57
Cobertura	%	100%
Consumo eléctrico anual	kWh	1.882,99
Volumen Acumulador	L	180

Además, con el fin de evaluar el funcionamiento de este sistema de forma horaria, se seleccionó el día 24 de julio al igual que en los casos anteriores. Con ello, se obtuvieron las siguientes gráficas.

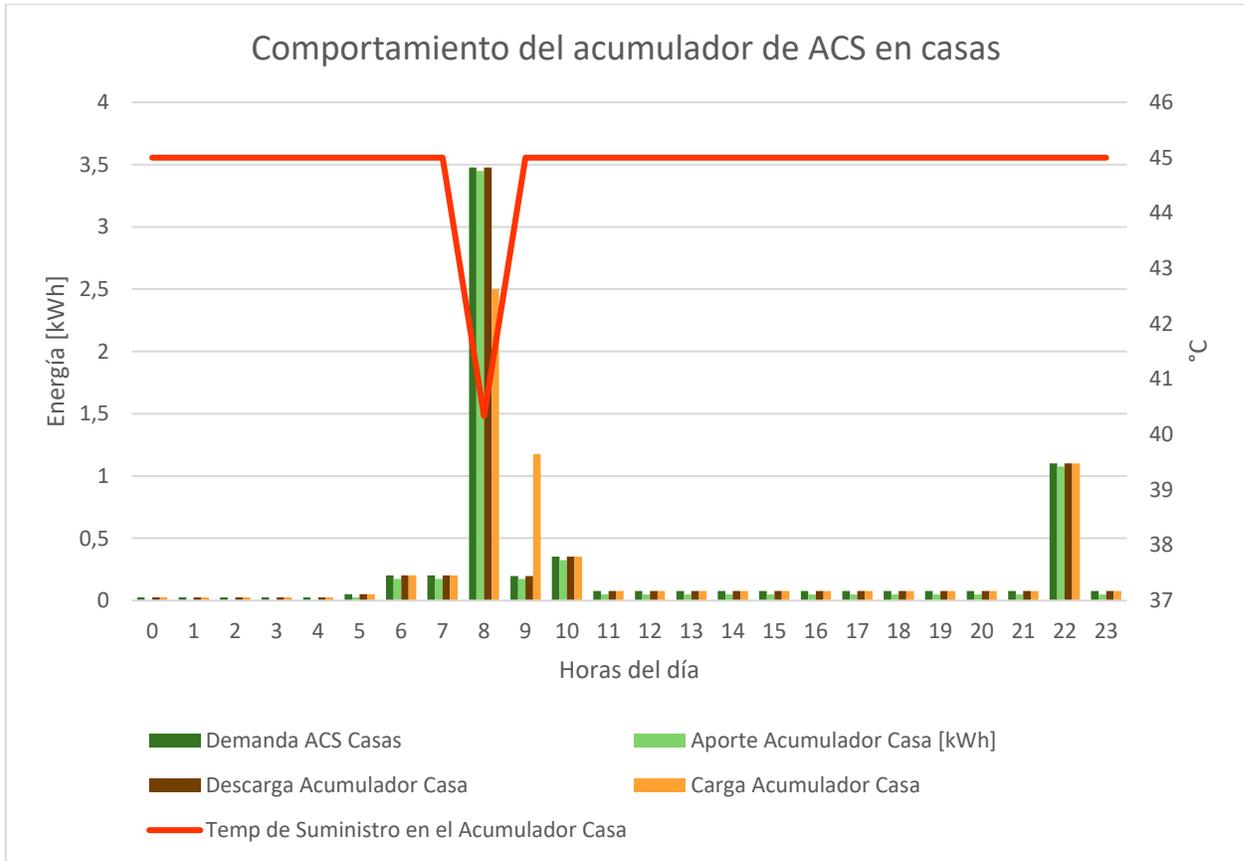


Ilustración 97. Curvas de ACS día de invierno para Casas, caso alternativo 2.

Como es posible apreciar de la Ilustración 97, la demanda de ACS es cubierta por el aporte del acumulador eléctrico en todas las horas. Asimismo, se puede observar el comportamiento de la energía acumulada frente a la demanda de agua caliente sanitaria, la cual tiende a disminuir cuando hay consumo de ACS, y que posteriormente tiende a aumentar cuando la resistencia eléctrica comienza a funcionar. En conjunto a esto, se puede observar la brecha que existe entre la máxima demanda, y el punto más bajo de la energía acumulada, lo cual asegura el abastecimiento de ACS a la vivienda. Por último, también se observa la temperatura de suministro de agua caliente, la cual oscila entre los 50°C y 30°C.

Adicional a esto, se obtuvo la temperatura de suministro a nivel horario, la cual se muestra en la Ilustración 98, observando un máximo de 50°C y un mínimo de 29°C.

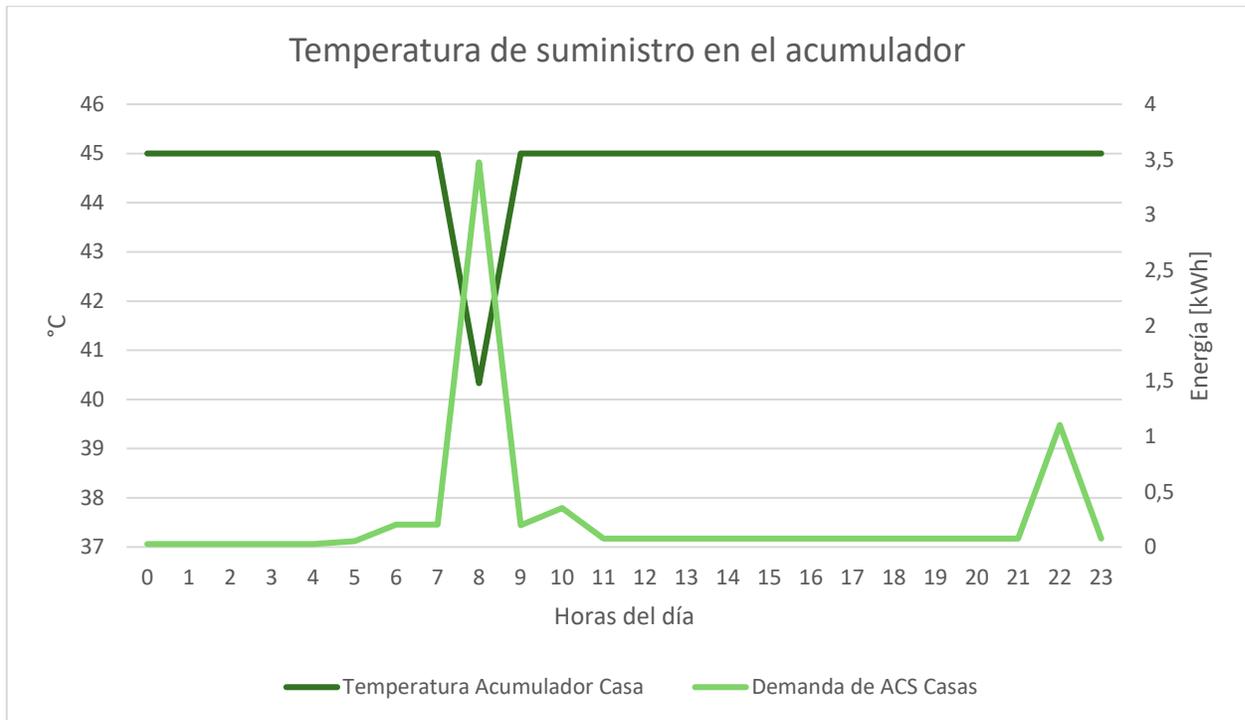


Ilustración 98. Temperatura de suministro de ACS

Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos (on grid) por vivienda se realizó considerando todos los sistemas consumidores de electricidad que pudiera tener dicha vivienda, los cuales se muestran en la Tabla 65, donde se muestra además las horas de funcionamiento y su consumo diario y mensual asociado.

Tabla 65. Sistemas de consumo eléctrico considerados en vivienda.

DESCRIPCION	CANTIDAD	POTENCIA (W)	Horas/días	Energía DIA [kWh/día]	Horas/mes	Energía mes [kWh/mes]
Luminarias bajo Consumo	9	9	5,0	0,41	150,00	12
Refrigerador	1	250	8,0	2,00	240,00	60
Televisor	2	110	2,0	0,44	60,00	13
Equipo música	1	80	2,0	0,16	40,00	3
Microondas	1	1000	0,2	0,20	6,00	6
Hervidor	1	1500	0,2	0,30	6,00	9
Computador	1	90	2,0	0,18	60,00	5
Cargador Celular	6	10	6,0	0,36	180,00	11
Tostador eléctrico	1	1500	0,2	0,30	6,00	9
Horno Eléctrico	1	1500	0,2	0,30	2,00	3
Cocina eléctrica	1	3000	2,0	6,00	60,00	180
Secador de Pelo	1	1200	0,2	0,24	3,00	4
Split 9.000	2	775	6,0	9,30	180,00	279



Split 18.000	1	1540	6,0	9,24	180,00	277
Lavadora	1	500	2,0	1,00	20,00	10
Acumulador Eléctrico	1	2500	5,0	12,50	75,00	188
Plancha	1	1500	2,0	3,00	16,00	24
Total E		18.071,0		45,93	1.284,00	1.093

Con esta información, fue posible construir el circuito eléctrico en la vivienda, el cual se constituye por 5 subcircuitos conectados a un empalme de 8,8 kW de potencia y 40 Amperes (empalme típico para vivienda residencial)

Considerando esta evaluación, se seleccionó un sistema fotovoltaico cuya potencia eléctrica de diseño fuera un 25% de la potencia del empalme y que, además, este pudiera ser de un tamaño compatible con el techo de la vivienda. En base a esto, los parámetros de diseño correspondientes son los siguientes.

Tabla 66. Parámetros de diseño

Variable	Unidad	Valor
N° de paneles	-	8
Potencia panel	W	310
Superficie panel	m ²	2
Superficie instalación	m ²	16
Potencia instalación	kW	2,5

Utilizando estos parámetros, se realizó la evaluación anual horaria de la producción eléctrica de los sistemas fotovoltaicos, lo cual se hizo diferenciando tres tipologías de casa en base a su orientación:

1. Tipo 1: favorecidas en orientación norte – Factor Corrección 1,00
2. Tipo 2: desfavorecidas en orientación norte – Factor Corrección 0,75
3. Tipo 3: tipología intermedia respecto a las dos anteriores – Factor Corrección 0,94

Con ello, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 67. Generación fotovoltaica por tipología de casa

Tipo orientación	N° de casas	Generación PV anual [kWh]	Cobertura por vivienda	Producción Total Casas [kWh]
Tipo 1	108	3.173,58	32,87%	342.746
Tipo 2	168	2.380,18	24,65%	399.871
Tipo 3	106	2.975,23	30,82%	315.374
Total	382			1.057.991



DEPARTAMENTOS

Calefacción y ACS

Los parámetros en los cuales se basó el dimensionamiento realizado para el conjunto de departamentos se muestran en la Tabla 68, los cuales corresponden a valores por departamento.

Tabla 68. Parámetros vivienda

Variable	Unidad	Valor
Potencia Calefacción	<i>kW</i>	5,63
Potencia ACS	<i>kW</i>	2,61
Superficie vivienda	<i>m²</i>	56,0

Al igual que en el caso de las casas, se realizó el dimensionamiento del sistema de calefacción basado en equipos Split, lo cual consideró como requisito que dichos equipos pudieran abastecer la potencia térmica de diseño, la cual en este caso es equivalente a 5,63 kW. Con ello, se seleccionó un sistema compuesto de 1 equipo de 9.000 BTU/hr y 1 equipo de 12.000 BTU/h, obteniendo una potencia instalada igual a 6,15 kWt. Considerando este valor, posteriormente se evaluó el abastecimiento térmico en base a la demanda horaria de calefacción en los departamentos, de lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 69.

Tabla 69. Resultados por departamento

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	6,15
Horas de funcionamiento	hr	3.196
Demanda cubierta	kWh	7.435,12
Cobertura	%	99%
Consumo eléctrico anual	kWh	2.480,44
COP anual	Ratio	3,00

Como es posible apreciar de esta tabla, la solución propuesta para calefacción permite suministrar 7.435,12 kWh, lo cual se traduce en un 99% de cobertura respecto a la demanda anual. Asimismo, se obtiene su consumo eléctrico asociado, el cual corresponde a 2.480,44 kWh eléctricos, y con el cual se obtiene un COP anual equivalente a 3.

En cuanto al suministro de agua caliente sanitaria, el dimensionamiento del sistema afín se realizó considerando como restricción el cubrimiento del 100% de la demanda, además de lograr el suministro de



agua caliente a una temperatura adecuada para el confort de las personas. Con ello, se obtuvieron los siguientes parámetros de diseño que permitieron cumplir con estas restricciones.

Tabla 70. Parámetros acumulador

Variable	Unidad	Valor
Acumulación (energía)	kWh	6,97
Acumulación	L	150
Altura Acumulador	m	1,00
Pérdidas Acumulación	%	0,36
Radio	m	0,20
Pérdidas térmicas estanque aislado	W/m ²	20
Diferencia de Temperatura	°C	40
Potencia Resistencia Eléctrica	kW	2

Considerando estos parámetros y la demanda horaria de ACS por departamento, se obtuvieron los siguientes resultados asociados a la acumulación eléctrica.

Tabla 71. Resultados ACS

Variable	Unidad	Valor
Potencia de diseño	kWt	6,97
Horas de funcionamiento	hr	993
Demanda cubierta	kWh	1.201,39
Cobertura	%	100%
Consumo eléctrico anual	kWh	1.411,61
Volumen Acumulador	L	150

Sumado a esto, se evaluó la demanda y suministro de ACS a nivel horario para el día 24 de julio, lo cual se muestra a continuación.

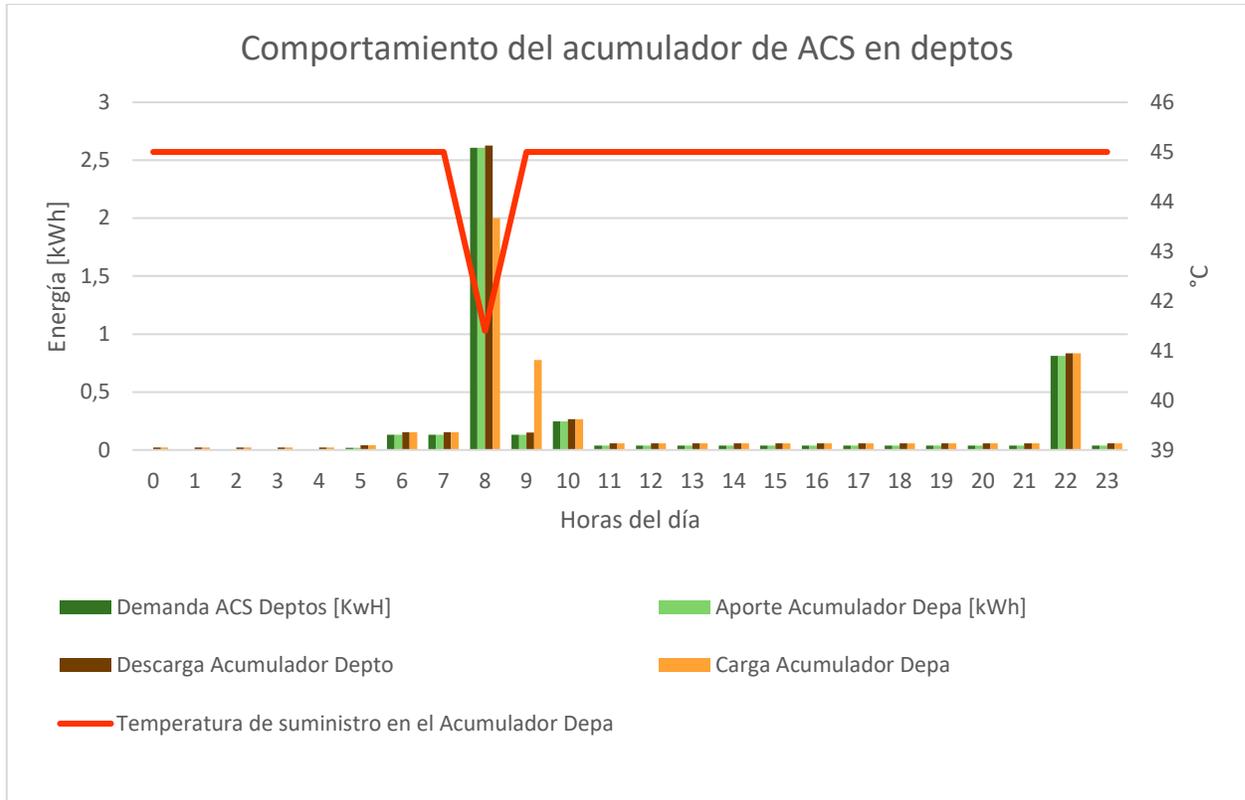


Ilustración 99. Curvas de ACS día de invierno.

Como es posible apreciar de la Ilustración 99, la demanda de ACS es cubierta por el aporte del acumulador eléctrico en todas las horas. Asimismo, se puede observar el comportamiento de la energía acumulada frente a la demanda de agua caliente sanitaria, la cual tiende a disminuir cuando hay consumo de ACS, y que posteriormente tiende a aumentar cuando la resistencia eléctrica comienza a funcionar. En conjunto a esto, se puede observar la brecha que existe entre la máxima demanda, y el punto más bajo de la energía acumulada, lo cual asegura el abastecimiento de ACS del departamento. Cabe señalar que en todas las horas, la brecha entre energía disponible y demanda es mayor que en el caso de las viviendas ya que en este caso se evaluó un acumulador con mayor sobredimensionamiento. Por último, también se observa la temperatura de suministro de agua caliente, la cual oscila entre los 50°C y 32°C.

Adicional a esto, se obtuvo la temperatura de suministro a nivel horario, la cual se muestra en la Ilustración 100, observando un máximo de 50°C y un mínimo de 32°C.

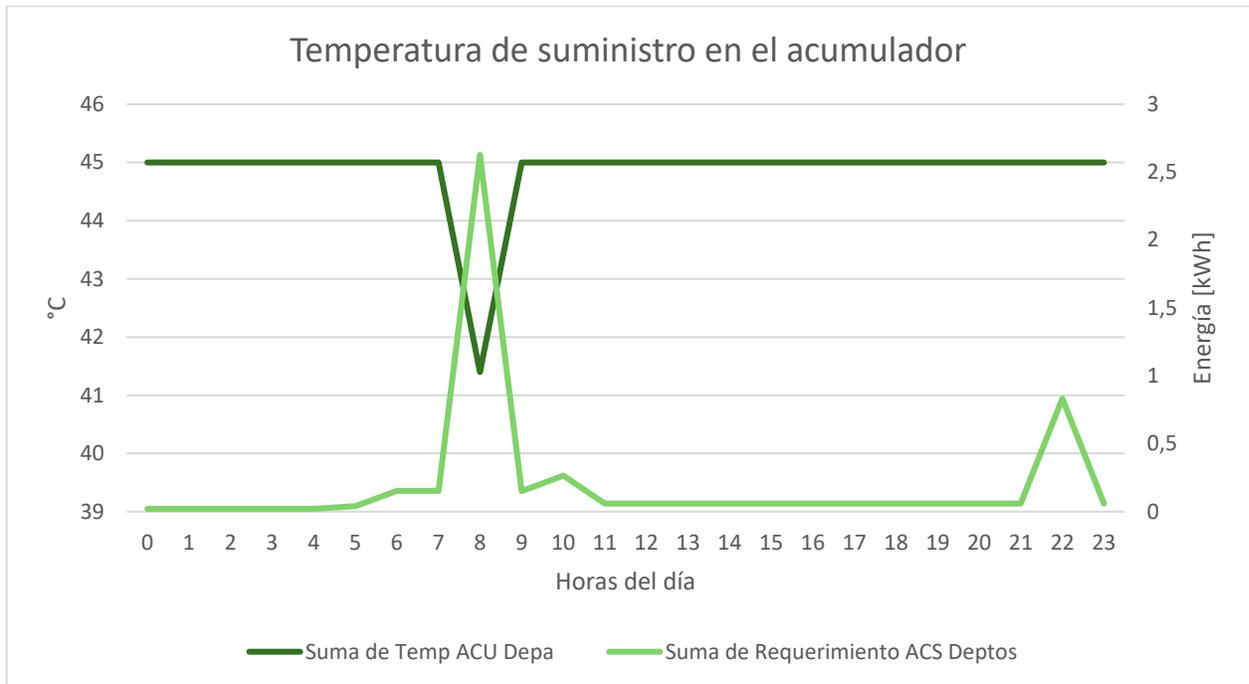


Ilustración 100. Temperatura de suministro de ACS

Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos (on grid) fue realizado considerando el conjunto habitacional de departamentos, donde para ello se consideraron todos los sistemas consumidores de electricidad que pudiera contemplar un departamento, los cuales se muestran en la Tabla 72. En esta última se muestra además las horas de funcionamiento y su consumo diario y mensual asociados.

Tabla 72. Sistemas de consumo eléctrico considerados en departamento.

DESCRIPCION	CANTIDAD	POTENCIA (W)	Horas/días	Energía DIA [kWh/día]	Horas/mes	Energía mes [kWh/mes]
Luminarias bajo Consumo	9	9	5,0	0,41	150,00	12
Refrigerador	1	250	8,0	2,00	240,00	60
Televisor	2	110	2,0	0,44	60,00	13
Equipo música	1	80	2,0	0,16	40,00	3
Microondas	1	1000	0,2	0,20	6,00	6
Hervidor	1	1500	0,2	0,30	6,00	9
Computador	1	90	2,0	0,18	60,00	5
Cargador Celular	6	10	6,0	0,36	180,00	11
Tostador eléctrico	1	1500	0,2	0,30	6,00	9
Horno Eléctrico	1	1500	0,2	0,30	2,00	3
Secador de Pelo	1	1200	0,2	0,24	3,00	4



Split 9.000	2	775	6,0	9,30	180,00	279
Split 18.000	1	1540	6,0	9,24	180,00	277
Lavadora	1	500	2,0	1,00	20,00	10
Acumulador Eléctrico	1	2500	5,0	12,50	75,00	188
Plancha	1	1500	2,0	3,00	16,00	24
Total E		18.071,0		45,93	1.284,00	1.093

Con esta información, fue posible construir el circuito eléctrico por departamento, el cual se constituye por 5 subcircuitos conectados a un empalme de 8,8 kW de potencia y 40 Amperes.

Considerando esta evaluación, se seleccionó un sistema fotovoltaico cuyo tamaño fuera compatible con la extensión del techo en el edificio. En base a esto, los parámetros de diseño correspondientes son los siguientes.

Tabla 73. Parámetros de diseño por edificio

Variable	Unidad	Valor
N° de paneles	-	360
Potencia panel	W	310
Superficie panel	m ²	2
Superficie instalación	m ²	720
Potencia instalación	kW	111,6

Utilizando estos parámetros, se realizó la evaluación anual horaria de la producción eléctrica de los sistemas fotovoltaicos, de donde se obtuvo una producción por cada edificio igual a 107.108,24 kWh.

10.3.3. CASO ALTERNATIVO 3: SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL

Para la descripción del sistema distrital, se listan las características simuladas y detalladas en secciones anteriores, con la observación sobre la curva de demanda que muestra la Ilustración 101. Se puede notar que esta curva no es exactamente igual a las anteriores pues, para el diseño de un sistema de calefacción distrital, la demanda del sistema se hace considerando todas las tipologías de viviendas, y calefacción y ACS juntos. Esto produce un efecto atenuador de los peaks de demanda por simultaneidad de la misma.

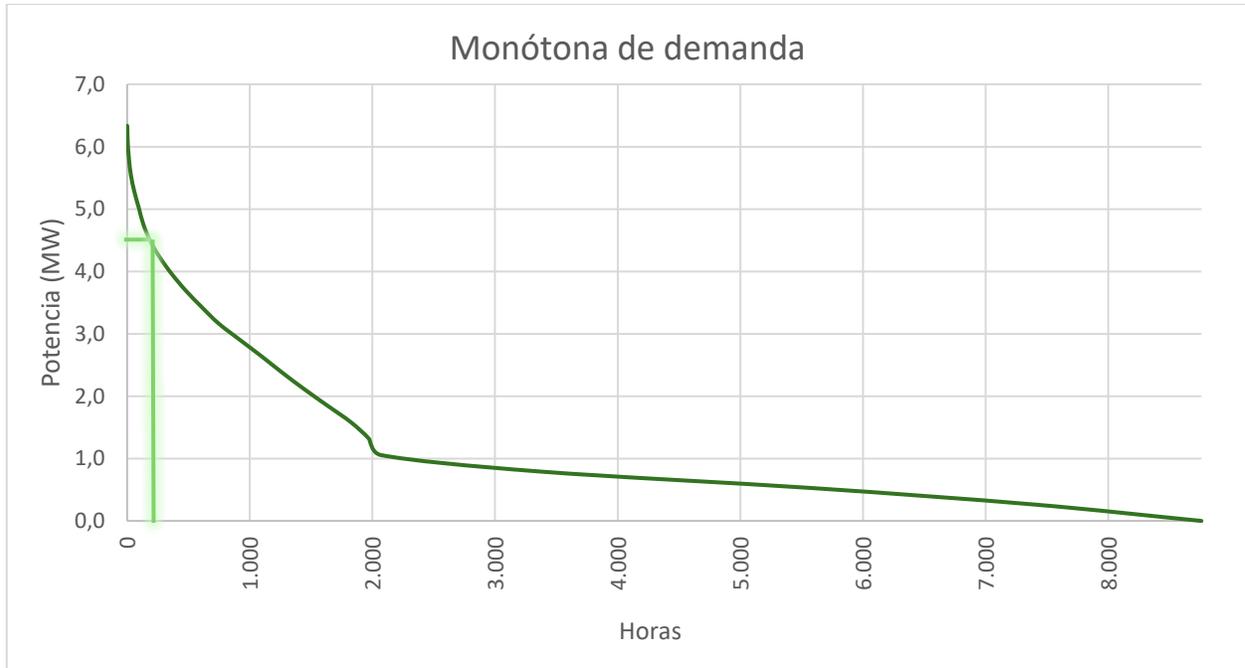


Ilustración 101. Curva monótona de demanda

Como se mencionó en secciones anteriores, se propone un sistema de calefacción distrital con un sistema de generación de biomasa como fuente basal y una caldera de gas licuado como apoyo. Las características generales de la central térmica se observan en la Tabla 74.

Tabla 74. Características Generales proyecto Labranza.

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia calderas Biomasa	MWt	3,0
Potencia calderas GLP	MWt	1,5
Potencia Térmica	MWt	4,5
Volumen acumulación	m ³	81
Aporte Biomasa	MWh	9.057
Aporte GLP	MWh	384
Aporte Biomasa	MWh	96%
Aporte GLP	MWh	4%

La curva de la Ilustración 101 permite identificar que un 98% del tiempo la demanda del sistema es inferior a los 4,5 MWh, implicando que unas 170 horas al año la demanda supera este valor. Esto permite diseñar



el sistema con una potencia igual a este valor máximo, y que el sistema de acumulación pueda suplir las horas de demanda mayores a este número.

El gráfico de la Ilustración 102 ilustra los aportes, tanto de las calderas de biomasa como de las calderas de GLP en contraste con la demanda. Se puede observar que, durante los meses de mayor demanda, se tiene aporte de los dos tipos de calderas además del aporte del acumulador, lo que permite cubrir los peaks de demanda que ocurren en esta época del año,

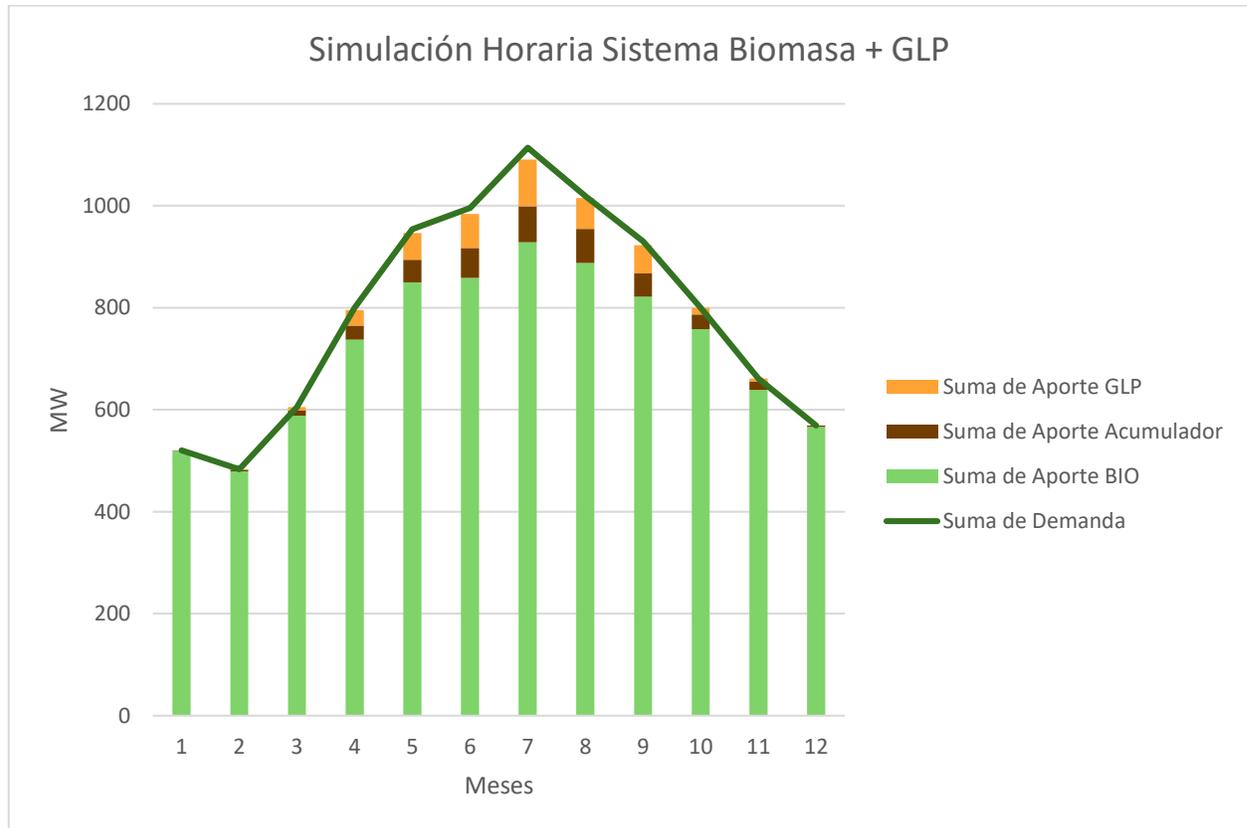


Ilustración 102. Simulación horaria de demanda y aportes

Para determinar la ubicación de la central térmica del sistema de calefacción distrital, se deben considerar diversos factores. En primer lugar, el tamaño del área a utilizar depende claramente del tamaño de la central térmica. Considerando que la central se diseña para entregar 4,5 MW de potencia y que se contempla la existencia de 2 calderas de biomasa y una de gas licuado, se estima que se requeriría de una sala de calderas de aproximadamente 320 m² de superficie. En esta estimación, se consideran todos los elementos de gran tamaño necesarios para la operación de la sala de calderas, como el acumulador y el silo de combustible.



Dentro del loteo del Megaproyecto Labranza, existe un área destinada al uso de Equipamiento, que cuenta con 1.879 m² de superficie. Se propone considerar esta locación, sin embargo, para no obstaculizar el uso destinado de esta área, se propone construir la central térmica de forma subterránea bajo el área de Equipamiento, cuya ubicación se muestra en la Ilustración 103.



Ilustración 103. Ubicación del área de Equipamiento dentro del Megaproyecto de Labranza

Si bien la construcción subterránea de una central térmica es más costosa que hacerlo en superficie debido a la alta intervención en el terreno, permite liberar espacio en superficie destinado a otros usos pudiendo de esta forma reorganizar el loteo con el fin de que no se pierda espacio que podría rentabilizarse o utilizarse para la construcción de áreas verdes. Esto además permite una mejor relación con la comunidad de residentes, al priorizar la construcción de espacios comunes por sobre la construcción de una central térmica.

Dadas entonces, la idoneidad y factibilidad de construir la central bajo el área de Equipamiento, se decide que el sector bajo el lote indicado como Equipamiento en la Ilustración 103 constituye el mejor lugar para el emplazamiento de la central térmica, por lo que los análisis posteriores consideran este aspecto.

Con el emplazamiento de la central térmica ya decidido, se procede a diseñar la red de distribución de calor. Primero, se debe tener en consideración el mapa de loteo del conjunto habitacional, el que se indica en la Ilustración 104, en donde se destaca el único lote en el que se tiene planificado el emplazamiento de viviendas colectivas como edificios de departamentos. Los lotes restantes constituyen, en su mayoría, a sectores en los que se tiene planificada la construcción de viviendas unifamiliares tipo bloque.

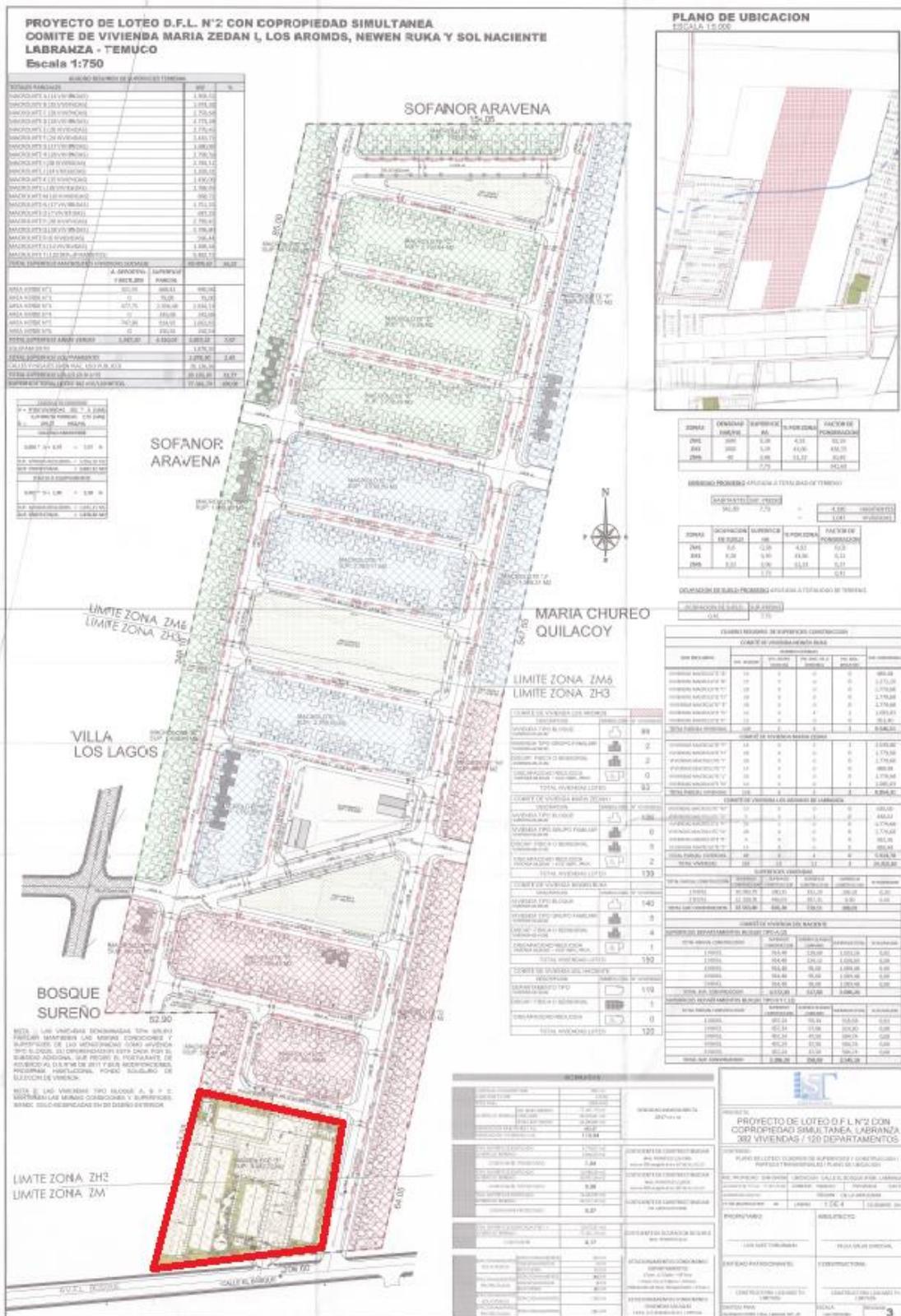


Ilustración 104. Plano de loteo de conjunto habitacional de Labranza



Conociendo la distribución de lotes dentro del conjunto habitacional, se debe contar con un mapa que indique de forma visual la densidad de potencia en cada lote, en W/m² de terreno, de forma de guiar hacia dónde se deberían orientar las cañerías que deberían funcionar como principales. Este mapa se puede observar en la Ilustración 105.

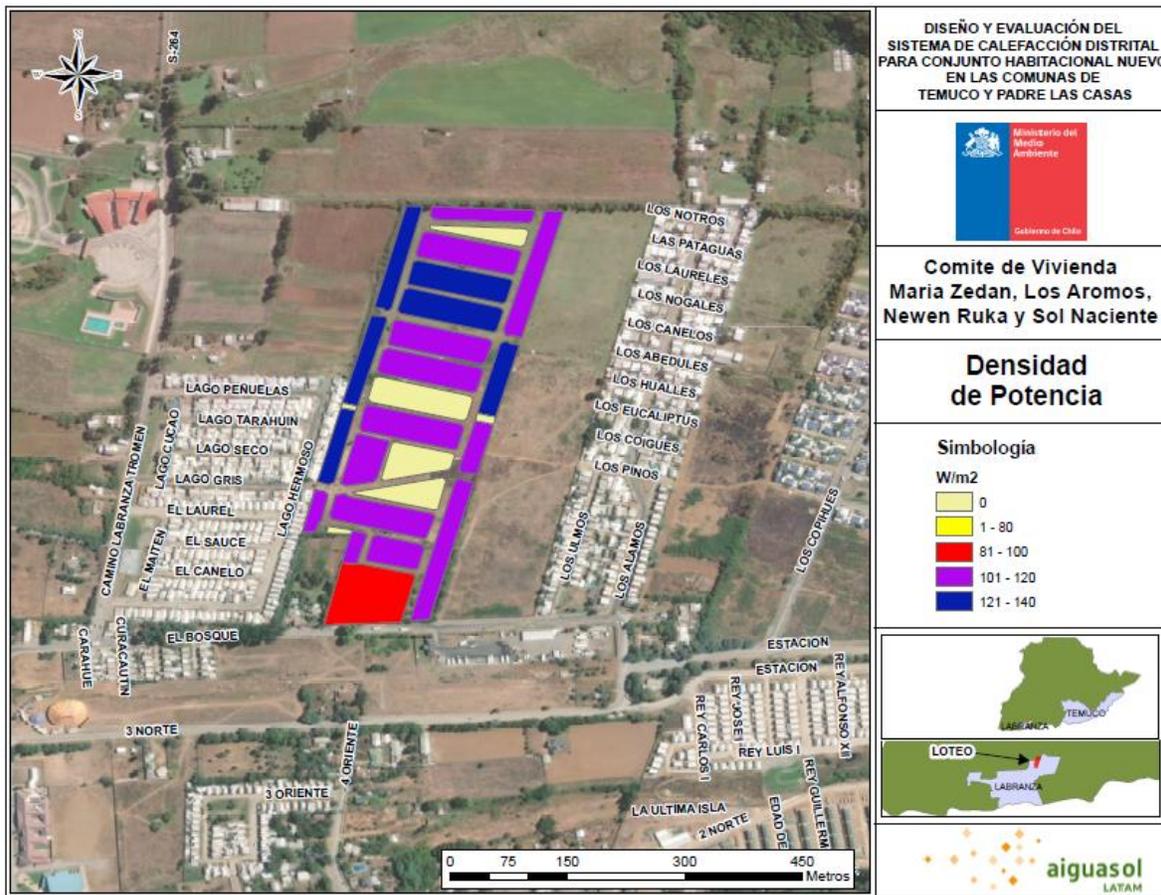


Ilustración 105. Mapa de Potencia del conjunto habitacional Labranza

Del mapa de las ilustraciones anteriores se puede ver que en general los lotes en los que existen viviendas tipo bloque tienen una densidad de potencia mayor al lote en donde se proyectan las viviendas colectivas.

En el caso particular del conjunto habitacional de Labranza, el loteo se encuentra dividido de forma ordenada y cuadriculada, por lo que se propone un sistema con dos vías principales que cruzan todo el conjunto habitacional. Considerando esta subdivisión además del mapa de potencia, se propone que la red se distribuya utilizando cañerías principales que circulen por estas vías. En la Ilustración 106 se puede ver el diseño propuesto para la red de distribución de calor del sistema de calefacción distrital.



Ilustración 106. Diseño de red propuesto para sistema de calefacción distrital en el conjunto habitacional de Labranza

En la Ilustración 106, las líneas anaranjadas identifican las tuberías principales, que conectan directamente la central térmica con algunas zonas del conjunto habitacional. En general son estas las tuberías de mayor diámetro. Las líneas de color verde identifican las tuberías secundarias, de menor diámetro que las principales, y conectan zonas del conjunto habitacional al sistema de calefacción a las tuberías principales para llegar a la central térmica. Finalmente, se observan dos líneas celestes en la parte inferior de la Ilustración 106, estas corresponden a tuberías terciarias, en general se utilizan para conectar zonas de difícil acceso, aunque en este caso se utilizan específicamente para conectar el lote que contiene la zona de viviendas colectivas. Por otro lado, los polígonos de colores semitransparentes identifican la subdivisión de lotes en el proyecto del conjunto habitacional de Labranza.

En la Ilustración 106 se listan las características principales de las tuberías que forman la red de distribución de calor, la que cuenta con una longitud total de 2.246 metros.

Tabla 75. Resumen características principales de tubos de la red de calefacción distrital

ID Tubería	Nivel	Di (mm)	Di (inch)	L (m)
LAB-01-01	Primaria	202,74	8"	331
LAB-01-02	Primaria	154,08	6"	205
LAB-01-03	Primaria	128,2	5"	466
LAB-02-01	Secundaria	52,48	2"	54,9
LAB-02-02	Secundaria	62,68	2 1/2"	96,4
LAB-02-03	Secundaria	52,48	2"	97



LAB-02-04	Secundaria	52,48	2"	99
LAB-02-05	Secundaria	62,68	2 1/2"	101
LAB-02-06	Secundaria	62,68	2 1/2"	97
LAB-02-07	Secundaria	62,68	2 1/2"	95,6
LAB-02-08	Secundaria	62,68	2 1/2"	93
LAB-02-09	Secundaria	52,48	2"	94
LAB-02-10	Secundaria	52,48	2"	93,4
LAB-02-11	Secundaria	52,48	2"	97,6
LAB-02-12	Secundaria	52,48	2"	99,6
LAB-02-13	Secundaria	90,12	3 1/2"	57,2
LAB-02-14	Secundaria	90,12	3 1/2"	32,6
LAB-03-01	Terciaria	40,94	1 1/2"	36,1
TOTAL	-	-	-	2.246,4

En la Ilustración 107 se observan las características generales de las tuberías consideradas en el estudio, destacándose su diseño "Twin", referido a las tuberías necesarias para llevar el caudal de agua desde la central hacia los hogares, y de vuelta a la central para completar el ciclo.

Ecoflex Thermo Twin



80°C
max.95°C



6 bar



25-75 mm

Primary application

- Heating water

Secondary applications

- Waste water
- Chemicals (call for confirmation)

Medium pipe

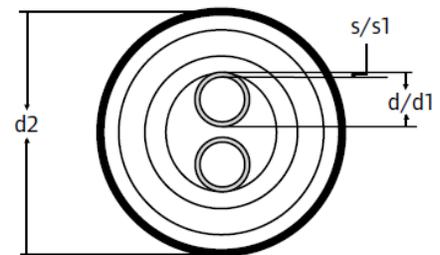
- PE-Xa with EVOH, SDR 11 (6 bar)

Insulating material

- Cross linked PE foam

Jacket pipe material

- PE-HD (PE 80)



Order Code	Medium pipe da / di / s	DN	Jacket pipe Da [mm]	Weight [kg/m]	Delivery lengths [m]	Bending radius [m]	Insulation thickness [mm]	U-value
1018134	(2x) 25 / 20.4 / 2.3	2x20	175	2.09	200	0.5	43	0.201
1018135	(2x) 32 / 26.2 / 2.9	2x25	175	2.16	200	0.6	38	0.241
1018136	(2x) 40 / 32.6 / 3.7	2x32	175	2.50	200	0.8	28	0.293
1018137	(2x) 50 / 40.8 / 4.6	2x40	200	3.59	100	1.0	32	0.314
1018138	(2x) 63 / 51.4 / 5.8	2x50	200	4.49	100	1.2	18	0.42
1088276	(2x) 75 / 61.4 / 6.8	2x65	250	6.43	100	1.4	28	0.369

Ilustración 107. Características generales tubería considerada



10.4. PRESUPUESTOS

Para efectos de la evaluación social que se desarrolla en el siguiente capítulo, se consideran los siguientes presupuestos por solución, atendiendo e las características de cada sistema descritos en la sección anterior.

Tabla 76: Presupuesto Solución Solar Térmica

Partida	Casas	Departamentos
Costo Colector	\$ 557.111	\$ 557.111
Cant Col / Vivienda	1	64
Cantidad Total Colectores	382	64
Costo Acumulador	\$ 1.093.790	\$ 5.543.200
Cantidad Acumuladores	382	2
Costo Estructura Montajes	\$ 185.748	\$ 147.881
Cantidad Total Estructura	382	64
Calefont Solar	\$ 215.126	\$ 121.849
Cantidad Calefont	382	80
Costo Estufas para calefacción	\$ 799.990	\$ 129.990
Cantidad Estufas	382	80
Costo Total por Colectores	\$ 212.816.402	\$ 35.655.104
Costo Total por Acumuladores	\$ 417.827.890	\$ 11.086.400
Costo Total Calefont	\$ 82.178.151	\$ 9.747.899
Costo Total por Estructuras	\$ 70.955.583	\$ 9.464.358
Costo Total por Estufas	\$ 305.218.000	\$ 8.738.824
Otros Costos	\$ 70.159.988	\$ 5.620.586
Instalación	\$ 210.479.963	\$ 14.051.466
Control	\$ 70.159.988	\$ 5.620.586
TOTAL	\$ 1.391.063.678	\$ 99.985.223



Tabla 77: Presupuesto Solución Fotovoltaica + Split

Partida	Casas	Departamentos
Costo panel	\$ 175.934	\$ 175.934
Cantidad de Paneles / Vivienda	8	360
Cantidad Total paneles	3056	360
Costo Inversor	\$ 1.093.790	\$ 7.615.755
Cantidad Total inversores	382	2
Costo Estructura	\$ 300.697	\$ 450.041
Costo Total estructura	382	24
Termo eléctrico	\$ 324.361	\$ 247.891
Cantidad Total de termos eléctricos	382	80
Split 9000	\$ 327.723	\$ 327.723
Cantidad	764	80
Split 12000	\$ 352.101	\$ 352.101
Cantidad	0	80
Split 18000	\$ 369.739	\$ 369.739
Cantidad	382	0
Costo Por paneles	\$ 537.654.512	\$ 63.336.264
Costo Por inversores	\$ 417.827.890	\$ 15.231.510
Costo Por estructura	\$ 114.866.254	\$ 10.800.988
Costo Otros	\$ 107.034.866	\$ 8.936.876
Costo Termos	\$ 123.906.034	\$ 19.831.261
Costo Split	\$ 391.620.622	\$ 54.385.882
TOTAL	\$1.692.910.177	\$172.522.782

Tabla 78. Costo sistema distrital

Partida	Costo
Costo Piping	\$ 319.586.800
Costo Interconexión	\$ 937.586.714
Costo Radiadores	\$ 157.700.000
Costo Central térmica y otros	\$ 977.815.402
Costo Total DH	\$ 2.234.988.916



10.5. EVALUACIÓN SOCIAL

Dentro de este capítulo se espera comparar y evaluar, tanto cuantitativa como cualitativamente, el sistema de energía distrital con otros sistemas individuales de calefacción y generación de ACS. Como objetivo específico, se desea realizar una evaluación social de los tres proyectos de generación de calor propuestos (distrital y 2 sistemas alternativos) para el proyecto inmobiliario, utilizando como punto de comparación el Caso Base anteriormente definido, para poder establecer el escenario más rentable socialmente.

Como resultado de este análisis se presenta una comparación de las tres alternativas en términos de las siguientes variables: inversión, costo adicional por vivienda, consumo de energía, costo energético u operacional, LEC (costo nivelado de la energía), emisiones, costos o beneficios en salud y rentabilidad social. Además, se considerarán distintos indicadores económicos, tales como el VAN, la TIR y el Tiempo de Retorno de la Inversión. Adicionalmente, se deberán considerar los costos sociales de las emisiones contaminantes, valores que deberán ser validados por la contraparte técnica.

En primer lugar, para realizar una evaluación social de los proyectos se debe tener en cuenta la línea base contra la cual se considerarán los beneficios o costos que presenta cada una de las alternativas a evaluar. En este sentido, el caso Base ha sido dimensionado y explicado en el capítulo 10.2 de este informe. Como conclusión de ello se obtienen los consumos de energía, lo cual es utilizado para definir los costos energéticos de cada casa, logrando estimar la facturación energética que podrá tener cada una de las familias que habitará las viviendas del proyecto inmobiliario en cuestión.

De esta forma, se establece la disposición a pagar por la energía de calefacción y ACS que tendrán los habitantes del proyecto, o dicho de otra forma y de cara a la evaluación económica, los costos operacionales del Caso Base que sirven de referencia para la comparación de las tecnologías alternativas. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de estos costos:

Tabla 79: Facturación por consumos de energía según tipo de vivienda

	ACS Mensual	CC Mensual	ACS Anual	CC Anual
Casas (Gas + Leña)	\$ 13.390	\$ 17.500	\$ 160.700	\$ 210.150
Departamentos (Gas + Parafina)	\$ 10.050	\$ 36.000	\$ 120.600	\$ 440.000

En base a esta definición, podemos establecer como indicador la tarifa energética efectiva que se paga por la energía consumida por lo usuarios. Esta se calcula dividiendo el costo energético anual por la energía efectivamente consumida en un año por cada vivienda. La tarifa podrá variar para cada tecnología en función de los gastos de combustibles y de la energía efectiva que proporciona cada tecnología a los usuarios. Para el caso Base la tarifa se indica en la Tabla 80.



Tabla 80: Tarifa Caso Base

Caso Base	
Tarifa Efectiva	\$ 41

Ya con la definición anterior, se realizan los análisis de las distintas variables antes detalladas, en función de cómo cada una de las alternativas presenta beneficios o costos sociales con respecto al Caso Base.

En primer lugar, se presenta el gráfico comparativo con el aumento de la inversión que requiere cada uno de los proyectos, con tal de introducir las tecnologías propuestas, con respecto al Caso Base. Es importante mencionar que se ha considerado que las viviendas del proyecto contemplan sólo la inclusión de los calefont para la producción de ACS.

Las estufas, ya sea de Leña o Parafina, al no ser incluidas como parte de la casa, se consideran un costo extra para las familias en la situación Base. En este sentido, para la evaluación comparativa de las alternativas, este costo se ha considerado un beneficio social, dado el ahorro que significa para las familias no tener que comprarlas. El gráfico de la Ilustración 108 muestra los niveles de inversión en los que se debe incurrir por sistema en comparación al caso base, considerando lo ya mencionado respecto de la inclusión de estufas y elementos de calefacción. En el gráfico, en color verde oscuro se muestra el efecto en la inversión del subsidio de 40 UF por vivienda por sistema de calefacción, suponiendo que este subsidio se entrega por cada vivienda.

$$(382 + 80) \cdot 40 UF = 18.840 UF = \$ 522.847.433$$

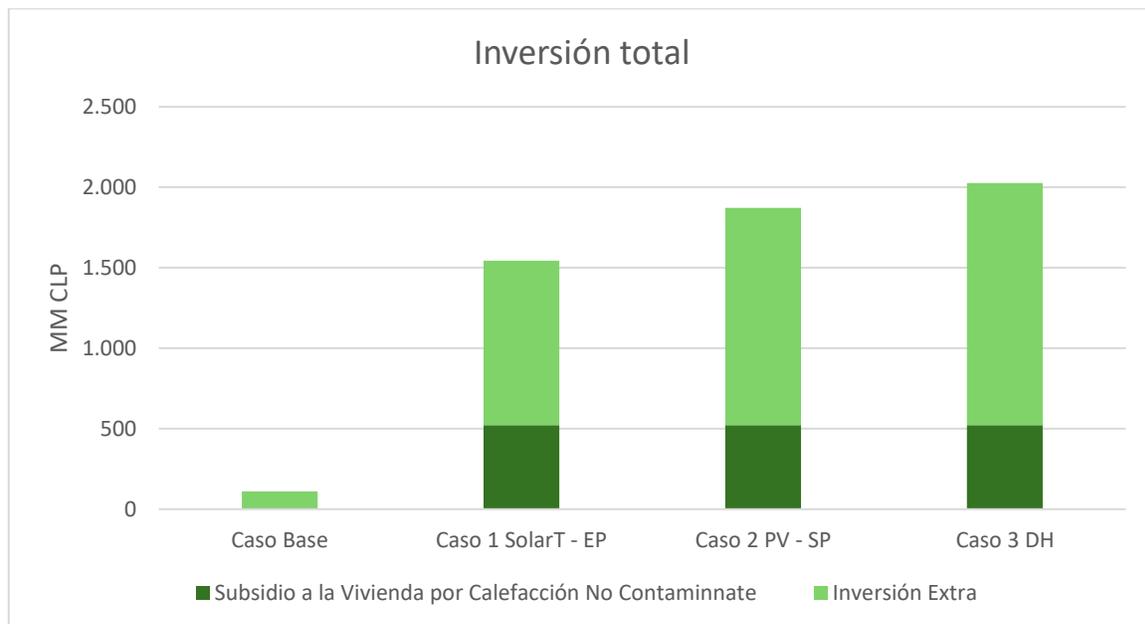


Ilustración 108. Inversión Total por solución propuesta



Un segundo aspecto para considerar es el costo adicional por vivienda que implica incluir estas tecnologías. La comparación es similar a la anterior, pero se analiza por vivienda con tal de comprender las implicancias presupuestarias que las mejoras tecnológicas generan, de cara a conseguir los financiamientos para un proyecto inmobiliario o en su defecto los subsidios que los proyectos requieren. El siguiente gráfico permite identificar esta brecha.

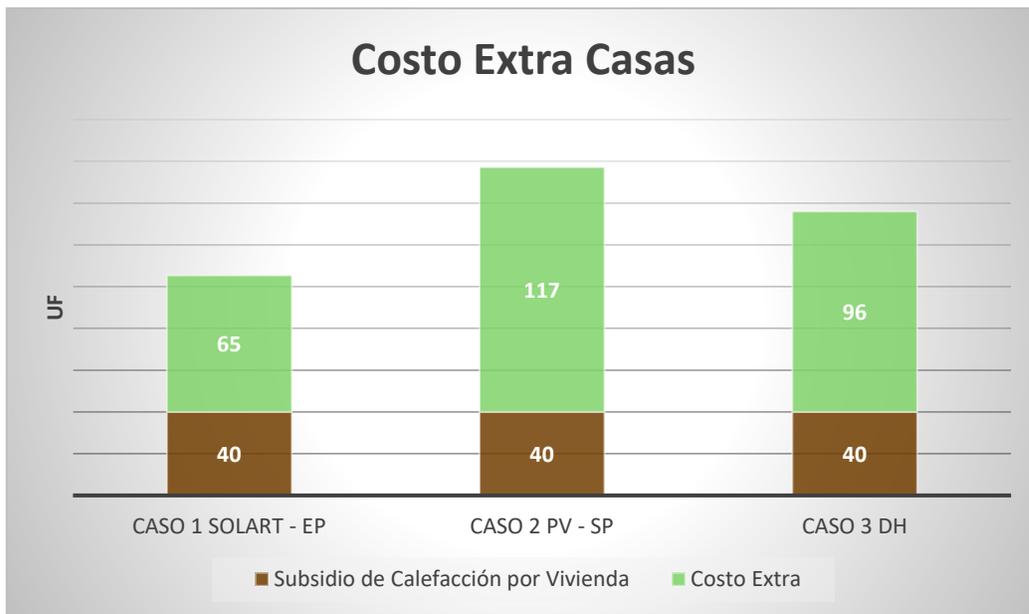


Ilustración 109. Costo extra de una casa, por solución propuesta

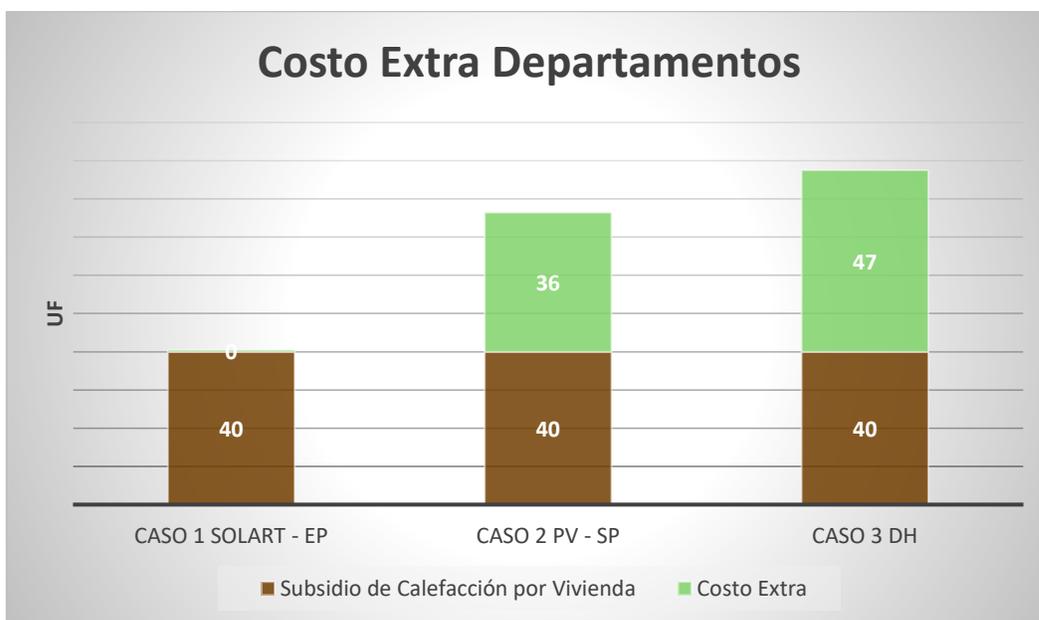


Ilustración 110. Costo extra de un departamento, por solución propuesta



Luego es importante evaluar en términos energéticos las tres alternativas. Esto es importante ya que permite evaluar desde el punto de vista de la eficiencia, así como también desde el punto de vista del costo operacional (factura energética). El siguiente gráfico es la comparación del consumo energético diferencial con respecto al caso base. Los gráficos de las ilustraciones indican consumos negativos. Esto implica que en relación al caso base, las tres soluciones propuestas consumen menos energía, al disponer de equipamiento de mayor eficiencia, especialmente al hablar del sistema de ACS, que para todas las soluciones involucra equipos de una eficiencia de, al menos, más del 50%.

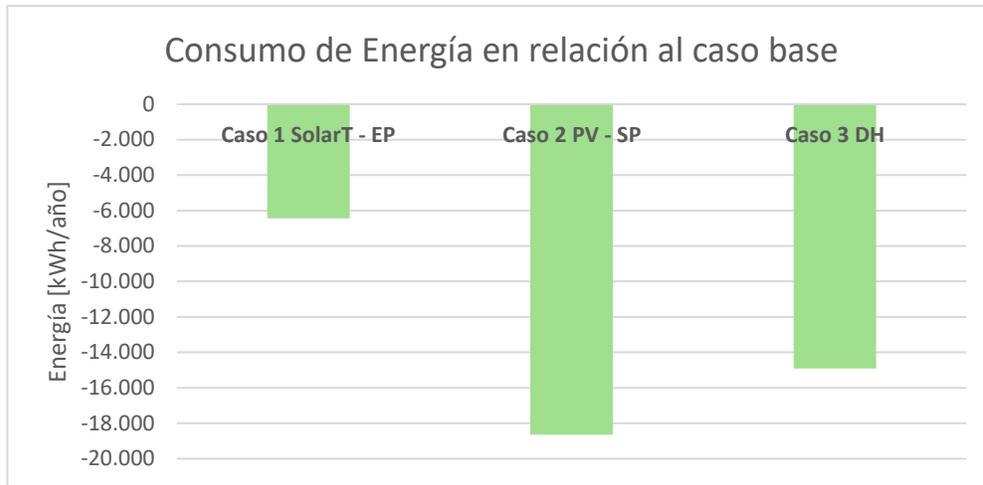


Ilustración 111. Consumo de Energía en relación con el caso base

A continuación, esto nos permite evaluar de forma comparativa los beneficios o costos energéticos que cada alternativa genera con respecto al Caso Base. En esta comparativa se incluyen los costos de consumo energético destinado al ACS y la Calefacción de las viviendas.



Ilustración 112. Ahorro en costo energético anual del proyecto



Ya con los antecedentes anteriores se busca poder comparar estas tecnologías, pero con una visión más de largo plazo. Para ello se utiliza el indicador LEC (costo nivelado de la energía), el cual se puede interpretar como un precio por kWh de energía aportado por cada uno de los sistemas que se desea comparar. En este caso la comparación no es diferencial con respecto al Caso Base, sino que es absoluta y por ende se incluye este caso para la comparación.

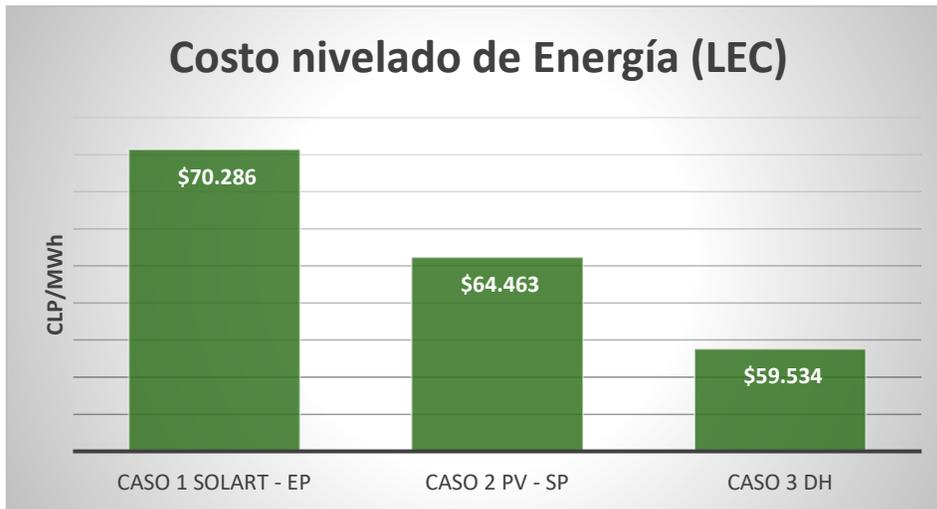


Ilustración 113. LEC (Costo nivelado de energía) por solución proyecto

Finalmente, dado que todos estos proyectos involucran una inversión adicional importante, se busca considerar el beneficio que estos generan a la sociedad con tal de poder rentabilizarlos socialmente. Para ello se debe comparar el diferencial de emisiones que estos proyectos generan con respecto al Caso Base, y como esto se traduce en un beneficio económico para el país o región. El siguiente es el gráfico comparativo de emisiones.

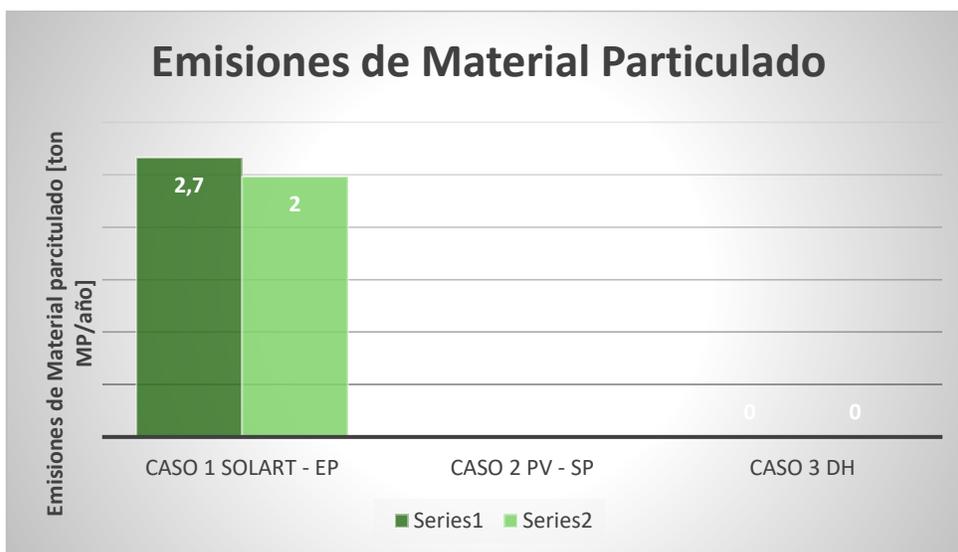


Ilustración 114. Emisiones de Material Particulado

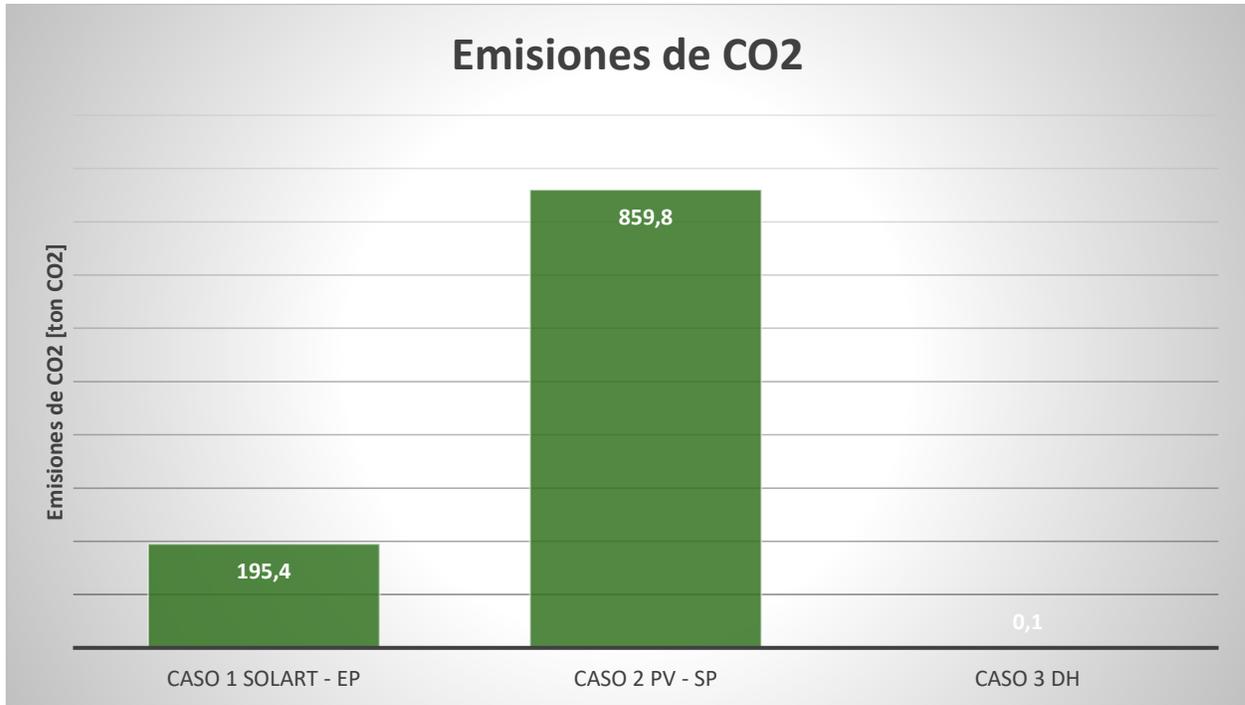


Ilustración 115. Emisiones de CO2

Con tal de traducir, los beneficios ambientales anteriores en ahorros económicos para la sociedad se ha elaborado la comparación en “Costo en Salud” que equivale al costo económico para la sociedad que implica cada tonelada de emisiones de material particulado (PM2,5 y PM10), así como también es el caso de las emisiones de CO2.

Es así como la evaluación social vinculada a la implementación de estas alternativas energéticas se basa en la cuantificación del beneficio social que implica la reducción de emisiones de material particulado con el desarrollo de esta tecnología. Dicha evaluación, se ha realizado en base a fuentes de información empleadas en proyectos distritales dentro de la ciudad de Temuco, cuyo análisis se realizó desglosando el costo social atribuible a la atención médica requerida por la población con enfermedades respiratorias u otras que hayan sido generadas por la emisión de material particulado. En particular, se consulta el “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación de Temuco y Padre las Casas por MP10 y MP2,5” del Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

Tal desglose separa la población atendida por Isapres, Fonasa y la población sin cobertura médica, donde se ha cuantificado el costo resultante asociado a la solicitud de licencias médicas. Por otro parte, también se cuantifica el costo social atribuible a enfermedades con alto riesgo de resultado de muerte provocadas o agravadas por la emisión de material particulado. A continuación, se presenta una tabla con los costos sociales desagregados, de lo cual se obtiene un costo anual neto por tonelada emitida de MP.



Tabla 81: Valorización beneficios sociales

Desglose	CLP/año/Tn evitada
Reducción de riesgos fatales	13.007.701
Isapres	253.726
Población sin cobertura médica	253.726
Fonasa	101.491
Costo social neto	13.616.644

A modo de ejemplo, la implementación de un sistema de calefacción distrital para este Megaproyecto tiene asociado una reducción de **10** toneladas de material particulado anualmente, lo que resulta en un beneficio social equivalente a \$130.616.644 al año. Esta última cifra, es lo que el estado finalmente deja de financiar. A continuación, se presenta la gráfica comparativa de esta variable.

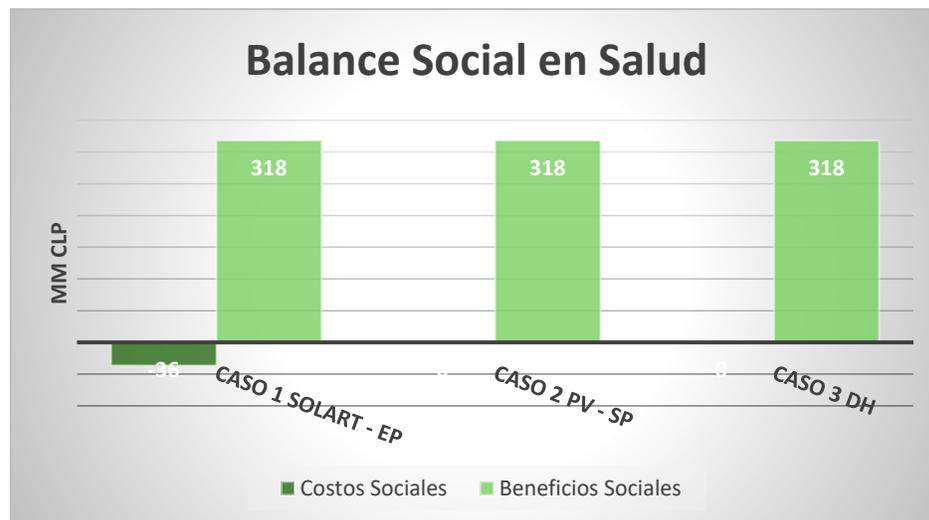


Ilustración 116. Balance Social de Salud

Esto permite, presentar la comparación de la rentabilidad social del proyecto en el siguiente gráfico:

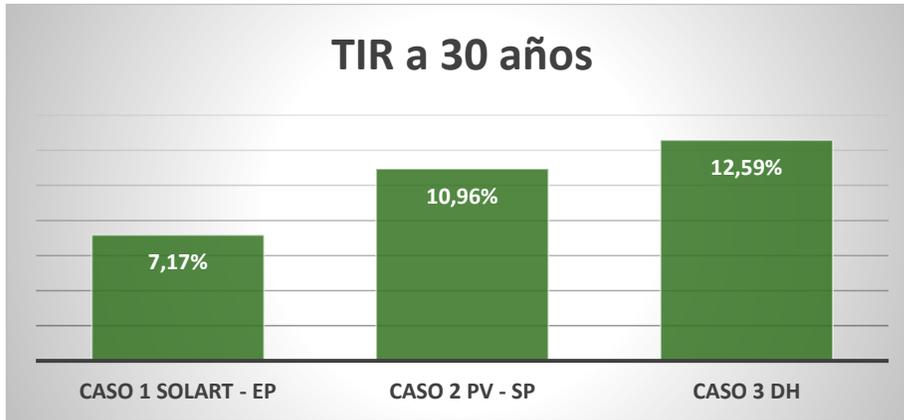


Ilustración 117. Tasa interna de retorno a 30 años por solución propuesta

Por último, se presentan las tablas comparativas de los indicadores económicos tradicionales para la evaluación de los proyectos, en los que se incluye el VAN, TIR y PayBack de cada uno.

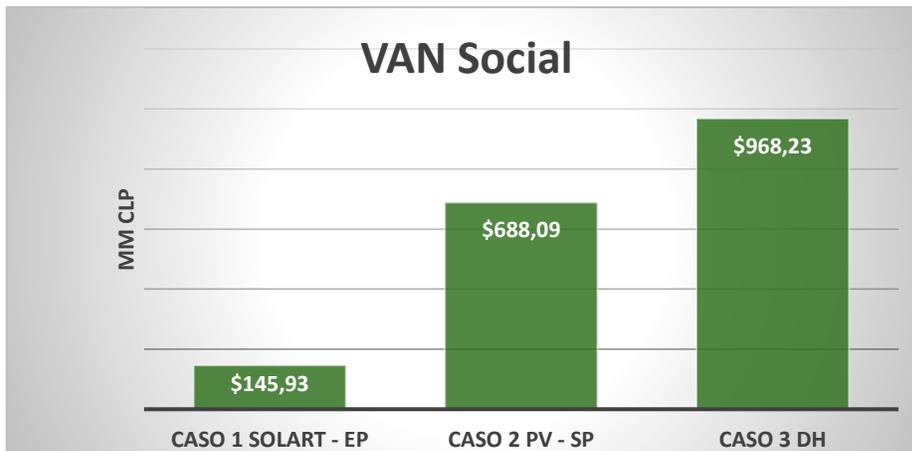


Ilustración 118. VAN social del proyecto

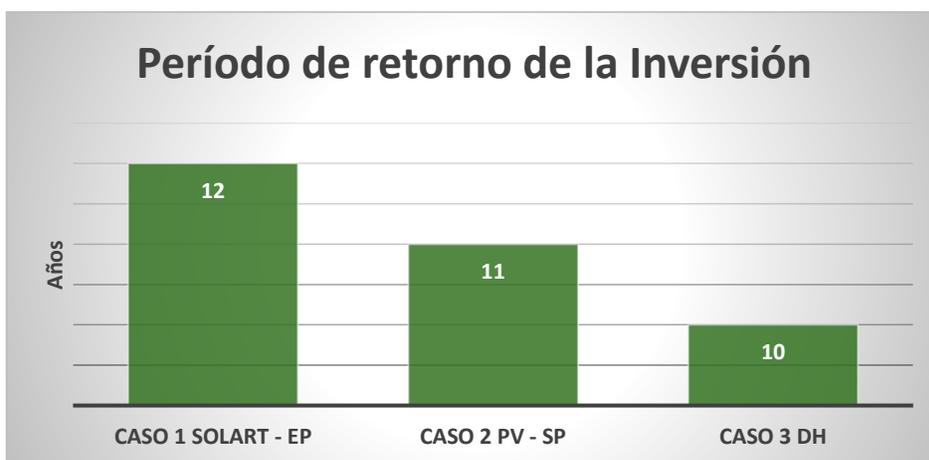


Ilustración 119. Período de retorno de la inversión



Se puede observar de los gráficos de las ilustraciones anteriores que el sistema de calefacción distrital es el que resulta más atractivo desde el punto de vista de una evaluación social, conclusión que se desprende del análisis del VAN, TIR y Período de Retorno de la inversión. Sin embargo, esto produce un aumento en el precio individual de venta de cada una de las viviendas, como se observa en los gráficos de las ilustraciones. Esto implica que el costo máximo de las viviendas sobrepasa las 950 UF que se tienen como limitante para la postulación al subsidio DS 49, lo que debería considerarse si se pretende que un conjunto habitacional de este tipo pueda postularse a través de este subsidio.

Por último, podemos calcular la tarifa energética efectiva de cada caso con tal de compararlas.

Tabla 82: Resumen Tarifa Energética Efectiva de cada tecnología

	Caso Base	ST-EP	PV-SP	DH
Tarifa Efectiva [\$/kWh]	\$ 52	\$ 48	\$ 44	\$ 37

10.6. ANÁLISIS AUMENTO DE PRECIOS

El Megaproyecto Labranza, es un proyecto habitacional cuyas viviendas pueden ser compradas mediante el Fondo Solidario de Elección de Vivienda también conocido como Subsidio DS 49. El DS 49 es un programa del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) el cual brinda a las personas la posibilidad de comprar una vivienda nueva o usada. El Subsidio DS 49 se enfoca principalmente en las familias que no poseen una vivienda propia y que viven en situaciones precarias de pobreza y que pertenezcan al 40% más vulnerable según el Registro Social de Hogares (RSH). El DS 49 permite comprar una vivienda, que puede ser departamento o casa, de un monto máximo de 950 UF.

Tomando como supuesto que las viviendas del proyecto tienen, en la actualidad, un precio de venta de 950 UF, se puede calcular el aumento del precio de venta de estas viviendas si se asume que todo el costo del sistema de calefacción distrital es absorbido por los compradores.

Los supuestos considerados para el análisis son:

- Los compradores absorben el costo total del sistema de calefacción distrital.
- Se asume que, tanto viviendas tipo bloque como departamentos parten desde un precio de venta basal de 950 UF.
- El costo de interconexión consiste en la instalación de equipos distribuidores del calor producido por la central térmica, pudiendo conectar la vivienda a la tubería correspondiente. Estos equipos se dimensionan por potencia de las viviendas, por lo que, si una vivienda tiene una potencia de calefacción mayor, el costo de interconexión también se distribuye según potencia.



- Los costos de la central térmica y piping se distribuyen a todas las viviendas por igual.
- Valor de UF: \$28.215 CLP.

Se considera el costo total del sistema de calefacción distrital separado por partidas como muestra la Tabla 83.

Tabla 83. Costo sistema distrital

Partida	Costo
Costo Piping	\$ 319.586.800
Costo Interconexión	\$ 937.586.714
Costo Radiadores	\$ 157.700.000
Costo Central térmica y otros	\$ 977.815.402
Costo Total DH	\$ 2.234.988.916

De esta forma, se obtienen los resultados indicados en la

Tabla 84. En dicha tabla, se puede ver que en general todas las viviendas tipo bloque aumentan en la misma cantidad, mientras que la

Tabla 84. Distribución de Costos y aumento del precio final de venta de las viviendas

Tipología Viviendas	Cantidad de viviendas	Costo Por Piping + Central /vivienda	Costo Por Interconexión /vivienda	Costo Por Radiador/vivienda	Aumento en UF	Precio Final En Uf	% Aumento
Casas	382	\$1.228.016	\$2.257.427	\$350.000	136	1086	14%
Departamento	80	\$1.228.016	\$940.621	\$300.000	87	1037	9,2%



11. ANÁLISIS DE PROYECCIÓN DE SERVICIO

11.1. POTENCIALES CLIENTES

Dentro de los potenciales clientes se encuentran edificios de importancia como el Complejo Deportivo Municipal de Labranza, el Gimnasio Municipal, un CESFAM, todos ubicados en las cercanías del conjunto habitacional. Sus características generales se indican en la Tabla 85.

Tabla 85. Características generales edificios cercanos al Megaproyecto Labranza

Nombre	Distancia [m]	Superficie [m2]	Demanda [kWh]	Potencia [kW]
Complejo Deportivo	379	2.039	283.798	149
Gimnasio	728	427	59.395	31
Escuela	797	981	55.648	118
CESFAM	642	2.657	519.507	462
Biblioteca Labranza	379	1.689	56.555	90



Ilustración 120. Potenciales Clientes en las cercanías del proyecto



Se observa que las distancias al conjunto habitacional desde los edificios mencionados no superan el kilómetro, siendo la distancia mayor a la que se encuentra la Escuela, edificio cuya demanda no es tan grande, sin embargo, su importancia en términos de la comunidad es notoria. Por otro lado, la demanda de energía mayor la presenta el CESFAM, por lo que sería atractivo poder conectar ese cliente, que se encuentra a una distancia menor a otros edificios. Si se logra conectar el CESFAM como cliente, sólo harían falta unos 150 metros de tubería a lo largo de la misma línea para conectar dos clientes más, que significarían un poco más de 110 MWh de demanda de energía.

11.2. PROYECCIÓN DE PRESTACIÓN DE SERVICIO

Para el análisis de la proyección de prestación del servicio, primero se deben observar las potencias simuladas que presentan los potenciales clientes del servicio, indicadas en la Tabla 85. La suma simple de todas las potencias de los edificios da como resultado un total de 850 kW. Suponer que esta potencia es la peak que alcanzan todos los edificios significaría asumir que todos los edificios demandan el peak de energía de forma simultánea lo que resulta difícil de creer dadas las distintas tipologías y tipos de uso de los edificios en cuestión. Sin embargo, el que todos estos edificios demanden su peak de energía al mismo tiempo representa por lejos el peor caso en términos de potencia de diseño, por lo tanto, y de modo de no excluir este peor caso del análisis, se considerará que se deberían sumar unos 850 kW extra de potencia al diseño de la central térmica de generación del sistema.

Se recuerda la Tabla 86, la que indica las características generales del sistema de generación sin considerar los potenciales clientes. Esta solución considera 3 calderas de biomasa de 1 MW cada una o dos de 1,5 MW. Si se contemplan calderas de 1 MW entonces, bastaría con agregar otra caldera de biomasa de la misma capacidad para cumplir (de sobra) con la potencia exigida por el nuevo proyecto.

Tabla 86. Características Generales proyecto Labranza.

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia calderas Biomasa	MWt	3,0
Potencia calderas GLP	MWt	1,5
Potencia Térmica	MWt	4,5
Volumen acumulación	m ³	81
Aporte Biomasa	MWh/año	9.057
Aporte GLP	MWh/año	384
Aporte Biomasa	MWh/año	96%
Aporte GLP	MWh/año	4%



Por otro lado, de la Ilustración 120 se observa que los potenciales clientes se encuentran básicamente en dos polos, uno al norte y el otro al sur del conjunto habitacional en estudio. Esto representa una ventaja pues se puede estimar que no se requiere un entramado de tuberías complejo para poder llegar a conectar estos edificios.

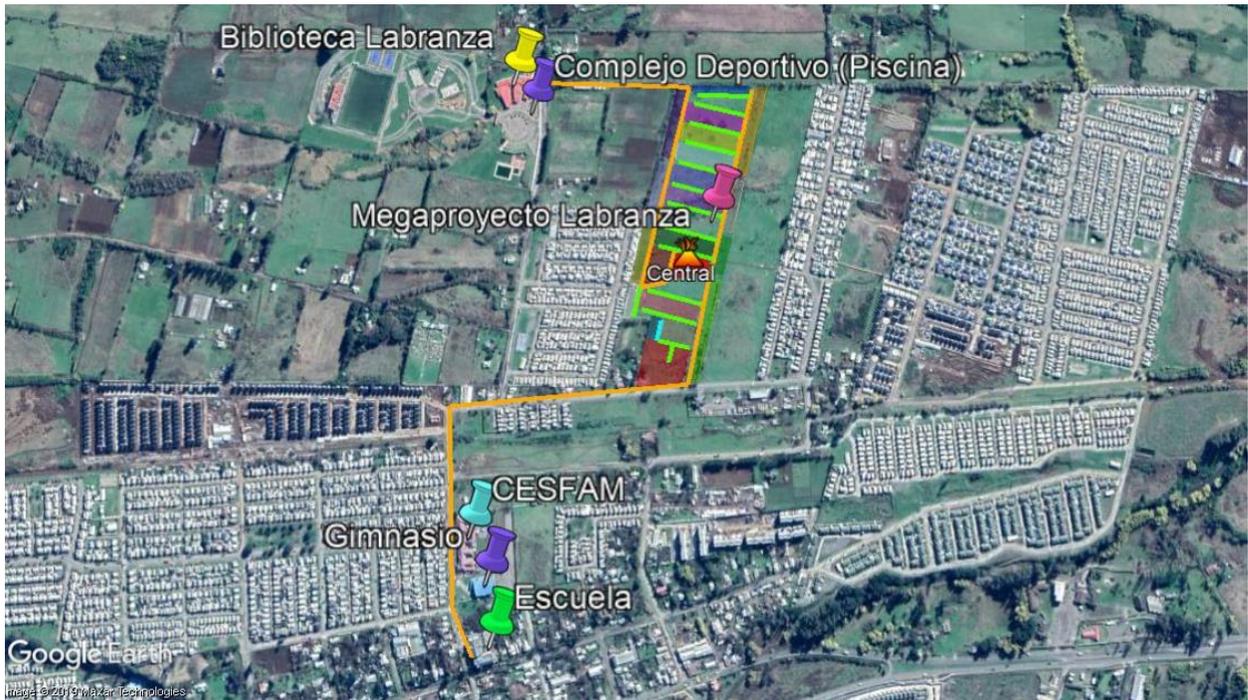


Ilustración 121. Tuberías necesarias para conectar a los potenciales clientes en las cercanías del proyecto

De la Ilustración 121 se observa que, a modo general, extendiendo dos de las tuberías previamente diseñadas se puede llegar a los dos polos donde se concentran los potenciales clientes del sistema de calefacción distrital.

Al llevar a números las apreciaciones anteriores, se propone que, para unir los edificios a la red distrital existente, habría que realizar las siguientes extensiones de servicio, sin modificar lo ya propuesto:

- Desde la central térmica se adiciona una tubería nueva, paralela a la ya existente que se dirija al sur, para cubrir el Gimnasio, Escuela y CESFAM.
- Desde la central, se adiciona una tubería nueva, paralela a las existentes, que se dirija al norte para cubrir el Complejo Deportivo y la Biblioteca.
- Se debe agrandar el edificio de la Central Térmica para albergar una caldera de biomasa extra, de 1 MW, y una caldera de gas adicional como refuerzo.



En términos de costos, estos cambios suponen adición de equipos, mano de obra, etc. A continuación, se indican las partidas principales de costos. En este caso, se omite la partida de radiadores, pues los edificios grandes pueden distribuir su calor de varias formas incluyendo, pero no limitándose, a fan-coil, radiadores, etc. Por lo que los siguientes costos son orientativos.

Tabla 87. Costo sistema distrital adicional

Partida	Costo
Costo Adicional Piping	\$68.291.846
Costo Adicional Interconexión	\$76.554.540
Costo Adicional Central térmica y otros	\$173.353.291
Costo Total Adicional DH	\$318.199.677

Con los costos orientativos de la tabla anterior, se debe definir ahora los ingresos del sistema. Para evaluar este aspecto se realiza un flujo de caja sólo incluyendo los clientes nuevos, de modo de analizar su rentabilidad a una tarifa de venta mayor a la de las viviendas. Evaluando el flujo de estos clientes a una tasa de descuento privada de 12% y considerando una tarifa fija estimada de 70 CLP/kWh, se obtiene una rentabilidad del proyecto de expansión de 20,43% y un período de retorno de la inversión de 6 años. De este modo, se observa que la rentabilidad de estos edificios puede ser muy atractiva para un privado y resulta mayor que la de las residencias evaluadas a una tasa social. En este sentido, la situación puede analizarse de dos formas:

- El proyecto se realiza bajo un sistema social, estatal, permitiendo que el beneficio aportado por la rentabilidad de los clientes ancla, permita una reducción de las tarifas de energía de los usuarios residenciales o justifique una mayor inversión estatal en subsidios adicionales para cubrir el valor de las viviendas con esta tecnología.
- El proyecto se realiza de forma privada, reevaluando el sistema completo bajo una tasa financiera de 12% y permitiendo ahora que los clientes ancla rentabilicen el proyecto completo de forma de hacerlo más atractivo a la inversión.

Cualquiera de las dos opciones implica que el impacto de la adición de nuevos clientes se traduce en un aumento de la rentabilidad del proyecto, lo que permite, ya sea la entrada de nuevos actores privados, la reducción de la tarifa para los clientes de las viviendas o el aumento de subsidios para la inversión por parte del estado.



12. CONCLUSIONES

Tras la finalización de este estudio y la elaboración del presente informe, se puede decir que se han logrado los resultados esperados del proyecto entorno a lograr diseñar un sistema de energía distrital para el suministro de calefacción y agua caliente sanitaria en un proyecto de viviendas sociales de la ciudad de Temuco, y que adicionalmente esto permita analizar las implicancias ambientales, sociales y económicas que la inclusión de este tipo de tecnologías puede tener en el desarrollo de los proyectos inmobiliarios.

Además, se ha realizado un estudio comparativo del uso de esta tecnología con respecto a sistemas individuales tradicionales de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS), que ha permitido entender los costos de inversión adicionales que significa este salto tecnológico, pero también el beneficio social que ello conlleva dada una disminución de los costos estatales en salud que genera la disminución de las emisiones material particulado por el uso de este tipo de sistemas. Esto además se alinea con la necesidad de cumplir con los Planes de descontaminación atmosférica por parte de los proyectos realizados en ciudades declaradas como zonas saturadas de contaminantes.

En primer lugar, es importante mencionar sobre los resultados iniciales del proyecto en relación con la selección del proyecto inmobiliario a utilizar para el estudio y diseño del sistema distrital. Se evaluaron tres proyectos inmobiliarios que cumplen con los requisitos de los subsidios acogidos al DS49 y los criterios acordados para la selección de uno de estos fueron: La cantidad de viviendas, la demanda energética total del proyecto, las emisiones de material particulado proyectado para cada proyecto, la accesibilidad del lugar, los posibles clientes “ancla” y la factibilidad de ubicar una central térmica en el proyecto.

De esta forma, entre los proyectos “Megaproyecto Labranza”, “Nueva Costanera” y “Bicentenario”, el seleccionado fue el primero, principalmente por representar un proyecto más representativo y atractivo por la gran cantidad de viviendas de tipologías constructivas distintas (382 casas y 80 departamentos) La cantidad de viviendas implica una cantidad de emisiones contaminantes muy altas, en particular de material particulado llegando a una totalidad de 10 toneladas de MP10 debido a la estimación de viviendas tipo casa, las que se caracterizan por el uso de estufas a leña para calefacción. Además, el proyecto de Labranza cuenta con atractivos clientes ancla incluyendo el CESFAM, cuya demanda se puede estimar en unos 500 MWh al año, además de situarse en una zona de gran crecimiento urbano y en particular de este tipo de proyecto.

Una vez seleccionado el proyecto se ha planteado un diseño de sistema de energía distrital capaz de cubrir las demandas de calefacción y ACS de cada una de las viviendas, con tal de poder comparar distintas tecnologías de generación de calor.



Cada una de las soluciones tecnológicas propuestas está compuesta de más de una tecnología, uniendo las ventajas de unas y otras para lograr sistemas eficientes, poco contaminantes y lo más rentables posible, que, en cualquier caso, deben cumplir los requerimientos del Plan de Descontaminación Ambiental vigente en Temuco y Padre las Casas.

La comparación se realiza entre las siguientes tres soluciones:

- a) Energía solar térmica con acumulación estacional apoyada con calderas de GLP (**ST+GLP**)
- b) Bomba de calor geotérmica con acumulación apoyada con calderas de GLP (**GSHP+GLP**)
- c) Calderas de biomasa con acumulación apoyadas con calderas de GLP (**BIO+GLP**)

En los tres casos propuestos se combina una tecnología de muy alta eficiencia y/o renovabilidad (de altos costos de inversión) para cubrir la demanda basal de energía, la cual es requerida la mayor parte de las horas del año, complementando con una tecnología de bajo costos de inversión, independientemente de sus costos operacionales o características ambientales, para cubrir los picos de demanda con operaciones de muy pocas horas a lo largo del año.

La alternativa seleccionada es la de Calderas de biomasa con acumulación apoyadas con calderas de GLP, la cual presentó menores costos de inversión, así como también, menores costos de operación y mantenimiento. La siguiente tabla es un resumen de ello e incluye el indicador LEC (Levelized Energy Cost), que representa el precio de largo plazo de la energía según la tecnología utilizada:

Tabla 88: Resumen resultados económicos de comparación tecnológica de generación para el sistema distrital.

Parámetro	Unidad	ST+GLP	GSHP+GLP	BIO+GLP
Costo O&M	<i>MMCLP</i>	640	344	229
Costo de Inversión	<i>MMCLP</i>	2.095	1.468	918
LEC	<i>CLP/kWh</i>	129	67	42

A la vista de los resultados obtenidos para el **LEC**, que se indican en la Tabla 88, en el cual se consideran los montos de inversión más los costos de operación y mantenimiento durante el período a evaluar, se concluye que, si se desea obtener el menor costo nivelado de energía, la tecnología de calderas de biomasa con calderas de gas licuado es la indicada. Esto implica tener un menor precio de la energía para los usuarios finales.

Por otro lado, desde el punto de vista ambiental, esta tecnología es carbono neutral por el hecho de utilizar biomasa. Además, el beneficio de ser un sistema con calderas de biomasa centralizado permite incluir tecnología de filtros especiales con tal de evitar las emisiones de material particulado, cumpliendo así con las exigencias de los PDA. Es importante aclarar que, dentro de la comparación del impacto ambiental, los equipos que funcionan con electricidad (como es el caso de la bomba de calor) deben considerar emisiones de CO₂ en función de la matriz energética del país o la región según se quiera evaluar. Dentro de este



mismo punto, las emisiones de material particulado deben evaluarse en relación con si las centrales de generación con área de influencia sobre la ciudad emiten o no en la cuenca atmosférica de la misma.

Ya con la selección de la tecnología de generación se ha podido establecer un presupuesto final para el desarrollo del sistema de energía distrital para el “Megaproyecto de Labranza”, y sus costos operacionales, los cuales se pueden revisar en la siguiente tabla:

Tabla 89: Resumen de costos del sistema de energía Distrital

Parámetro	Unidad	DH BIO+GLP
Inversión Total	MMCLP	2.235
Costo Operacional	MMCLP/año	229

Otro de los resultados esperados del estudio es una comparación y evaluación del sistema de energía distrital con respecto a otros sistemas individuales de generación de calefacción y ACS. En este sentido los resultados son muy auspiciosos, ya que, a partir de una evaluación social de la implementación de los distintos proyectos de generación, se ha concluido que el proyecto distrital propuesto es el mejor evaluado con una rentabilidad final de 13%, y con un retorno de la inversión en un plazo de 10 años. Además, permite obtener la tarifa energética efectiva menor entre las tecnologías individuales comparadas, tal como se indica en la tabla.

Tabla 90: Tarifas Energética Efectivas de cada tecnología.

	Caso Base	ST-EP	PV-SP	DH
Tarifa Efectiva [\$/kWh]	\$ 52	\$ 48	\$ 44	\$ 37

Para realizar la comparación tecnológica se tomó un Caso Base como sistema de referencia, el cual utiliza tecnología habitualmente usada para la generación de calor en este tipo de viviendas (calefont a GLP y estufas a Leña o Parafina), con lo cual se estima un consumo energético, un gasto energético, una inversión en equipamiento, el LEC del proyecto, un nivel de emisiones, y su costo social en salud. A partir de estos parámetros se han comparado las tres tecnologías alternativas:

- a) Sistemas solares térmicos individuales con complemento de calefont solar más estufas a pellet para la calefacción. **(SolarT-E)**
- b) Sistemas solares PV con acumuladores eléctricos para el ACS y sistemas Split para la calefacción. **(PV-SP).**
- c) Sistema de energía distrital **(DH).**

Es importante mencionar que la implementación de un sistema de calefacción distrital para este Megaproyecto tiene asociado una reducción de 10 toneladas de material particulado anualmente, lo que



resulta en un beneficio social (disminución del costo en salud) equivalente a \$130.616.644 al año. Esta última cifra, es lo que el estado finalmente deja de financiar y por ende genera un beneficio social del proyecto.

Por otro lado, la implementación de este sistema implica una inversión adicional por vivienda que la inmobiliaria no estaría dispuesta a asumir en las condiciones actuales y que no está contemplado dentro de los subsidios estatales. En este sentido se ha construido las siguientes gráficas:

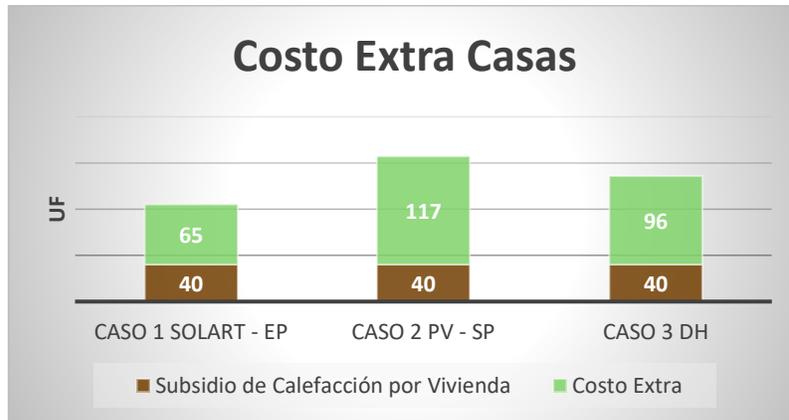


Ilustración 122. Costo extra de una casa, por solución propuesta

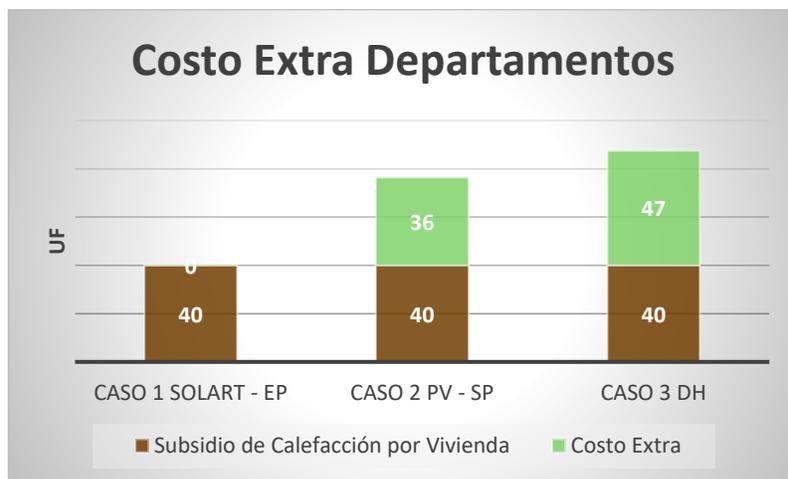


Ilustración 123. Costo extra de un departamento, por solución propuesta

Es por ello, que la promoción de estos sistemas depende inicialmente de un aporte estatal de 96 UF por vivienda y de 47 UF por departamento, adicionales a las 40 UF que hoy están disponibles para cambio de sistemas de calefacción en proyectos sociales de más de 300 viviendas en ciudades catalogadas como saturadas por contaminantes.

Otra forma de lograr que estos proyectos no requieran del aporte estatal es que sean a través de inversión privada por medio de un modelo ESCO. Para ello, se requiere que el proyecto sea atractivo para la empresa



privada, sin que esto implique un aumento en la tarifa de la energía para las familias, lo cual funciona a partir de la incorporación de los clientes anclas en la red distrital.