



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE CALEFACCIÓN  
DISTRITAL EN PUNTA ARENAS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
MECÁNICO E INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**JOSÉ IGNACIO SEMINARIO CASTELBLANCO**

**PROFESOR GUÍA:**

**ROBERTO ROMÁN LATORRE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**ROBERTO CORVALÁN PAIVA  
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**SANTIAGO DE CHILE  
OCTUBRE 2012**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Frente a los conflictos acontecidos durante el mes de enero del 2011 a raíz del anuncio de alza en el precio del gas natural residencial en Punta Arenas, la preocupante disminución de las reservas de gas natural, la configuración de la matriz energética regional y la importancia que representa para los habitantes de la XII región la calefacción de sus hogares, el objetivo del trabajo de título es estudiar de manera técnica y económica la implementación de calefacción distrital en la ciudad de Punta Arenas. La calefacción distrital corresponde a un método centralizado de generación de calor para un sector geográfico amplio con fines domésticos, tanto para calefacción como generación de agua caliente sanitaria. Se considera el análisis de distintas opciones de implementación de la tecnología: cogeneración (generación simultánea de electricidad y calor), implementación de centrales generadoras de calor y el aprovechamiento de los calores residuales de la generación eléctrica en la ciudad. Se selecciona un alcance geográfico de interés (2.614 hogares, dos centros comerciales y el hospital regional) del cual se estima la demanda de calor que atendería el sistema de provisión de calor. La evaluación técnica comprende el dimensionamiento de equipos y su selección a través de un proceso metodológico explícito cuya pretensión es crear precedente para futuros estudios de calefacción distrital. Mediante el desarrollo de herramientas de análisis PEST y Cinco Fuerzas de Porter se establece que la implementación más adecuada dado el contexto del mercado energético de la XII región es la recuperación de gases de escape de la central termo eléctrica Tres Puentes.

Se desarrolla un modelo de negocios para el sistema de calefacción distrital a partir de la recuperación de gases de la central Tres Puentes. La evaluación económica privada arroja un VAN de aproximadamente -13,5 [Mill. US\$] (20 años, 10%) para los tres escenarios estudiados (venta de calor para calefacción exclusiva, calor para calefacción y agua caliente sanitaria y una combinación de los anteriores). No obstante lo anterior, el proyecto tiene potencial de ser rentable frente a cambios de las condiciones actuales de evaluación (cambio en matriz energética, adquisición de combustible fuera de la región, aporte estatal al proyecto).

Se finaliza el trabajo de título con la formulación de recomendaciones para un modelo de gobierno que establezca los parámetros de comportamiento de los agentes involucrados en una hipotética implementación de un sistema de calefacción distrital.

*A mis padres*

## Agradecimientos

A Dios y a su Santísima Madre, quienes hacen todo posible. Gracias Señor, gracias Madre mía.

A mis padres, por darme todo.

A Carlos, por la hermandad.

A María José, por el amor, cariño y comprensión.

A mis amigos, por la alegría.

A todo el equipo de Gamma Ingenieros S.A., por el apoyo.

Gracias a todos.

## Contenido

1. Introducción .....	10
1.1. Prefacio .....	10
1.2. Planteamiento del Problema .....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo General .....	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4. Descripción del Proyecto y Justificación.....	11
1.4.1. Descripción del Proyecto .....	11
1.4.2. Justificación del Proyecto.....	12
1.5. Resultados Esperados .....	13
2. Antecedentes generales .....	13
2.1. Antecedentes Generales de Punta Arenas.....	13
2.1.1. Antecedentes Geográficos y Climáticos.....	13
2.1.2. Antecedentes Demográficos .....	19
2.2. Antecedentes energéticos de la XII región .....	20
2.2.1. Combustibles .....	21
2.2.2. Eléctrico.....	31
2.3. Conflicto del gas, enero de 2011.....	36
2.4. Calefacción Distrital .....	37
2.4.1. Equipos de calefacción actualmente utilizados en la región .....	37
2.4.2. Descripción de Sistema de Calefacción Distrital .....	39
2.4.3. Motivaciones para la implementación de Calefacción Distrital.....	40
2.4.4. Tecnologías y Alternativas de implementación .....	42
Central generadora de calor.....	42
Red de distribución.....	44
Central de vivienda.....	45
2.5. Marco Conceptual.....	47
2.6. Metodología.....	48
2.7. Alcances.....	50
3. Proyecto técnico: Implementación de calefacción distrital en Punta Arenas.....	51
3.1. Análisis y Consideraciones Preliminares .....	51
3.1.1. Oferta y demanda de combustible .....	52

Combustibles y Fuentes de Energía .....	52
3.1.2. Características de la Tecnología Disponible .....	57
Selección de Fluido Transportador de Calor.....	57
3.2. Determinación del rango geográfico del estudio .....	58
3.2.1. Rango geográfico de implementación.....	59
3.2.2. Consumidores potenciales incorporables a la red.....	64
3.2.3. Locación de central generadora de calor .....	66
3.3. Demanda de calor residencial para el alcance seleccionado .....	66
3.3.1. Consideraciones y factores para el cálculo .....	66
Consideraciones y factores climáticos o externos para el cálculo .....	67
Consideraciones constructivas y de operación para el cálculo .....	74
3.3.2. Confort Térmico de diseño.....	88
3.3.3. Demanda de calor para generación de ACS.....	88
3.3.4. Resultados demanda térmica residencial.....	89
Demanda térmica bruta por vivienda .....	89
Demanda térmica neta por vivienda.....	90
Demanda térmica neta total de sectores en estudio.....	91
3.3.5. Resultados demanda térmica recintos públicos.....	93
Demanda térmica Hospital Clínico Regional.....	93
Demanda térmica Centros Comerciales .....	94
Demanda térmica total recintos públicos .....	97
3.3.6. Demanda térmica total .....	98
3.4. Dimensionamiento y selección de equipos del sistema.....	98
3.4.1. Consideraciones preliminares .....	98
Proyección de crecimiento suscriptores .....	98
Factor de simultaneidad .....	99
Demanda/carga térmica de diseño.....	99
Configuración y tipo de red.....	100
Selección de material de tubería.....	105
Dimensionamiento de red.....	107
Válvulas y bombas .....	118
Otros componentes a considerar .....	128
3.4.2. Dimensionamiento de central generadora de calor .....	130
Recuperación de calor en gases de escape central Tres Puentes.....	130

Central de cogeneración .....	135
Central generadora de calor a gas natural .....	136
Planta para el tratamiento de agua.....	136
3.4.3.    Diseño de central de vivienda .....	138
Tipos de instalaciones para calefacción .....	140
Selección de equipos y materiales sistema hidrónico .....	142
4.    Proyecto económico .....	148
4.1.    Inversión en red de distribución.....	148
4.2.    Inversión en equipos de red .....	151
4.3.    Costo de opciones de centrales generadoras de calor .....	152
4.4.    Costo de centrales de vivienda.....	155
4.4.1.    Costo de central de vivienda, casa Tipo .....	156
4.4.2.    Costo de central de vivienda, casa Mejorada .....	156
4.4.3.    Costo de central de vivienda, casa EE.....	157
4.4.4.    Costo total de adaptación de suscriptores residenciales a la red .....	158
4.4.5.    Inversión total .....	159
4.5.    Modelo de negocios de sistema de calefacción distrital.....	160
4.5.1.    Análisis previo.....	160
Análisis PEST .....	161
Análisis de Cinco Fuerzas de Porter .....	170
Conclusión de análisis previo y selección de tecnología .....	174
4.5.2.    Modelo de negocios sistema de calefacción distrital mediante recuperación de gases de escape de central de generación eléctrica Tres Puentes. ....	177
Segmentos de mercado.....	177
Proposiciones de valor .....	178
Canales .....	178
Relaciones con los clientes.....	178
Fuentes de ingreso .....	179
Recursos clave.....	179
Actividades clave .....	180
Sociedades claves.....	180
Estructura de costos.....	180
Segmentos de mercado atendidos por servicio de calefacción distrital .....	182
Propuesta de valor del servicio de calefacción distrital .....	182
Canales del servicio de calefacción distrital .....	184

Relaciones con clientes de servicio de calefacción distrital.....	185
Fuentes de ingreso por servicio de calefacción distrital.....	186
Recursos clave para servicio de calefacción distrital.....	186
Actividades clave en la prestación de servicio de calefacción distrital.....	186
Sociedades clave para servicio de calefacción distrital.....	187
Estructura de costos de servicio de calefacción distrital.....	187
4.6. Evaluación económica.....	189
4.6.1. Consideraciones monetarias.....	190
4.6.2. Inversión.....	190
Inversión escenario 1.....	190
Inversión escenario 2 y 3.....	191
4.6.3. Ingresos.....	191
Ingresos escenario 1.....	192
Ingresos escenario 2.....	193
Ingresos escenario 3.....	193
4.6.4. Costos.....	193
Costos de operación.....	194
Costos de mantención.....	194
Costos de la gestión del negocio.....	195
4.6.5. Parámetros de flujo de caja.....	196
Horizonte de evaluación.....	196
Tasa de descuento.....	196
Depreciación de activos.....	196
Impuestos.....	197
4.6.6. Resultados de flujo de caja.....	197
Conclusión de análisis de flujo de caja.....	197
4.6.7. Análisis de sensibilidad de la evaluación económica del proyecto.....	198
5. Modelo de gobierno del servicio de venta de calor por red distrital.....	201
5.1. Ejemplos de modelos de gobierno.....	201
5.1.1. Jühnde, Alemania.....	201
5.1.2. Copenhague, Dinamarca.....	204
5.2. Formulación de modelo de gobierno para servicio de calefacción distrital.....	208
5.2.1. Esquema básico del funcionamiento de un servicio público.....	209
5.2.2. Objetivos del modelo de gobierno.....	211

5.2.3. Formulación.....	211
7. Recomendaciones y Conclusiones .....	218
7.1. Recomendaciones .....	218
7.2. Conclusiones.....	219
Bibliografía.....	224
Anexo A: Unidades Vecinales del Estudio.....	229
Anexo B: Detalles demográficos de Barrios en Estudio .....	234
Anexo C: Demandas brutas térmicas de viviendas .....	239
Anexo D: Demandas netas térmicas de viviendas. Consumo total. ....	245
Anexo E: Cálculos en tuberías .....	250
Anexo F: Minutas de reunión .....	267
Anexo G: Evaluación económica .....	280

# 1. Introducción

## 1.1. Prefacio

La calefacción distrital (o urbana) es un sistema de calefacción ampliamente extendido mundialmente tanto por su eficiencia en el uso de los combustibles como por las ventajas que presenta la generación energética centralizada para un distrito de suscriptores.

La ciudad de Punta Arenas, al ser una de las más australes del país, presenta un consumo de combustible residencial muy por sobre el promedio nacional, explicado por las condiciones geográficas y el consiguiente uso intensivo de calefacción, además de los bajos costos en el gas natural. Esta alta demanda de combustibles hace re plantear los procedimientos con que actualmente se realiza el acondicionamiento térmico de los hogares.

Por esto, resulta atractivo el estudio de nuevas tecnologías de calefacción, sobre todo cuando han demostrado su eficiencia en diversas ciudades del mundo.

Frente a la oportunidad y novedad que representa la calefacción distrital en el país se desarrolla el presente trabajo de título, el cual no está limitado a la evaluación de factibilidad técnica, sino que además se hará cargo del modelo de negocios de un servicio como este y del modelo de gobierno que lo regula. Con esto se aborda un trabajo de interés para la ciudadanía y las autoridades.

## 1.2. Planteamiento del Problema

Las condiciones climáticas de la ciudad, unidas a su constante aumento poblacional repercuten en un aumento sostenido e importante en el consumo de combustibles en la ciudad de Punta Arenas.

El aumento sostenido en el consumo, sumado a precios por debajo del valor de mercado para el gas natural han desincentivado las inversiones en exploración y explotación. Esta situación ha determinado un aumento constante en las tarifas del gas natural, como así mismo de un descenso progresivo en la reservas de combustibles de la región desde donde la ciudad se abastece. Lo anterior repercutió en el conflicto del gas acontecido en el mes de enero de 2011, tras los anuncios de aumento de tarifas.

Sumado a los esfuerzos que en la actualidad diversos organismos públicos desarrollan para paliar la situación, el estudio de nuevas formas de calefacción para la ciudad debe ser desarrollado a fin de poderse concretar medidas a largo plazo en la solución de problemas.

## 1.3. Objetivos

Se presentan a continuación los objetivos del presente trabajo de título.

### 1.3.1. Objetivo General

**Evaluar, de manera técnica y económica, una implementación (no necesariamente óptima) de calefacción distrital en la ciudad de Punta Arenas.**

### 1.3.2. Objetivos específicos

2. Analizar distintas opciones de implementación de calefacción distrital para la ciudad de Punta Arenas.
3. Determinar la cantidad de calor disponible para la opción de recuperación de calor de generación eléctrica en Punta Arenas.
4. Determinar la demanda térmica de viviendas en materia de calefacción.
5. Diseñar una implementación, a nivel de ingeniería conceptual, para cada tecnología de calefacción distrital en Punta Arenas según el alcance escogido.
6. Estudiar los costos de implementación y operación para distintas tecnologías de calefacción distrital.
7. Diseñar un sistema de cobros y/o tarifas para el sistema de calefacción distrital.
8. Evaluar económicamente la implementación de calefacción distrital en la ciudad de Punta Arenas.
9. Estudiar la componente pública en proyecto propuesto (quién es dueño, quién se hace cargo, quién regula, etc.). Diseñar el modelo de negocios, institucionalidad y modelo de gobierno del sistema.

## 1.4. Descripción del Proyecto y Justificación

### 1.4.1. Descripción del Proyecto

En el trabajo de título propuesto se desea estudiar, de manera técnica y económica, la implementación de calefacción distrital en la ciudad de Punta Arenas. Se considera el estudio para un escenario de implementación urbana no necesariamente óptima, pero que resulte de interés (académico, económico y social).

Lo anterior se llevará a cabo considerando diversas tecnologías. De las mencionadas en los antecedentes se evaluará la cogeneración, la implementación de centrales de generación exclusiva de calor y la recuperación de calores de la generación eléctrica en la ciudad (implementación que motivó en un principio el trabajo de título dada la oportunidad que se vislumbra en la región producto de su matriz de generación eléctrica).

En el caso particular de la recuperación de calor, se busca determinar la cantidad de calor remanente que actualmente es desaprovechado y que es factible de recuperar, y a partir de ahí diseñar una implementación de utilidad.

El proyecto de título comprende tres grandes áreas inevitablemente relacionadas con implementaciones de servicios públicos:

- Estudio técnico
- Modelo de negocios
- Modelo de gobierno

Por su importancia e interés, los tres puntos anteriores serán abordados dentro del informe. Con lo anterior el informe queda compuesto no sólo por una evaluación técnica de factibilidad e implementación, sino que además se hace cargo del estudio del modelo de negocios del sistema (la generación de beneficios que produce su implementación y que en definitiva la motivan) y el modelo de gobierno (control y regulación del sistema).

### **1.4.2. Justificación del Proyecto**

El desarrollo de estudios como el propuesto puede ser de interés en organismos gubernamentales como el Ministerio de Energía y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, ya que sigue la línea de trabajo que ambas organizaciones desarrollan en la actualidad. En términos generales, los organismos públicos buscan reducir el consumo nacional de combustible mediante la implementación de medidas de eficiencia energética o impulso de prácticas de buen uso. Esto es a tal nivel que la eficiencia energética es considerada como una fuente de energía más para el país.

El proyecto también se alinea con las labores que en la actualidad desarrollan en la región el MINVU y Fosis, orientadas en el mejoramiento de las condiciones de aislación de las viviendas. Cabe destacar que el trabajo de título sigue la línea de las medidas anunciadas por el gobierno al término del conflicto de enero de 2011.

También resulta de interés en los agentes encargados de la subvención del gas natural en la región, ya que se pueden concretar ahorros considerables de consumo de gas natural a nivel hogar.

El estudio puede resultar interesante para la generadora eléctrica, Edelmag S.A. El proyecto puede significar el inicio de una nueva área de negocio, el aumento de su eficiencia energética, una mayor diversificación de su cartera de operaciones o incluso un mejoramiento de su imagen corporativa. Se presenta la oportunidad a Edelmag de transformarse en pionero en implementaciones de cogeneración a gran escala en el país.

El estudio puede ser de interés para los habitantes de la región, quienes han visto cómo han aumentado las tarifas del gas natural en el último tiempo. También representaría para ellos una mejora en las condiciones ambientales al interior de sus hogares al momento de calefaccionarlos.

El estudio resulta importante a nivel país, ya que representaría un potencial ahorro en consumo de combustibles, fundamental en países como el nuestro en que el 76% de los

energéticos primarios son importados<sup>1</sup>. Se aminora la dependencia del país en materia energética.

Por todo lo anterior, la implementación de un sistema de calefacción distrital en Punta Arenas debe, al menos, ser estudiada.

## **1.5. Resultados Esperados**

Se espera contar, finalizado el trabajo de título con los siguientes productos:

1. Evaluación y análisis de distintas opciones de calefacción distrital para Punta Arenas (en particular, para los tres métodos mencionados).
2. Un levantamiento de la situación actual de la generación eléctrica en Punta Arenas, en relación a la generación de calores residuales del proceso.
3. Informe acerca de la situación del comportamiento en materia de calefacción para la zona de implementación seleccionada.
4. El estudio técnico, a nivel de ingeniería conceptual, de una implementación. En particular, una red de calefacción distrital.
5. Estudio de costos de implementación y operación del sistema propuesto.
6. El diseño de un sistema de cobros y tarifas por el servicio.
7. Una evaluación económica que permita conocer la pertinencia de una implementación como la propuesta.
8. Desarrollo de un modelo de negocios para implementaciones como la propuesta.  
Desarrollo de un modelo de gobierno para implementaciones como la propuesta.

Con todo, se contará con información de relevancia de la situación de la ciudad en materia de calefacción y un estudio con opciones para su reemplazo.

Además de lo anterior, los productos en su conjunto serán suficientes como entregar lineamientos relevantes a los interesados en el desarrollo de estudios futuros más acabados y específicos.

## **2. Antecedentes generales**

### **2.1. Antecedentes Generales de Punta Arenas**

#### **2.1.1. Antecedentes Geográficos y Climáticos**

La ciudad de Punta Arenas es la capital regional de la XII región de Magallanes y la Antártica Chilena, emplazada en la provincia de Magallanes. Las coordenadas geográficas de la ciudad son 53° 9' 15" S y 70° 54' 50" O, con una cota media de 8 m.s.n.m.

Las características climáticas principales de la región de Magallanes son las bajas temperaturas, vientos y precipitaciones de nieve en la época invernal, característicos del

---

<sup>1</sup> “Abastecimiento de gas natural”, PUC, 2007

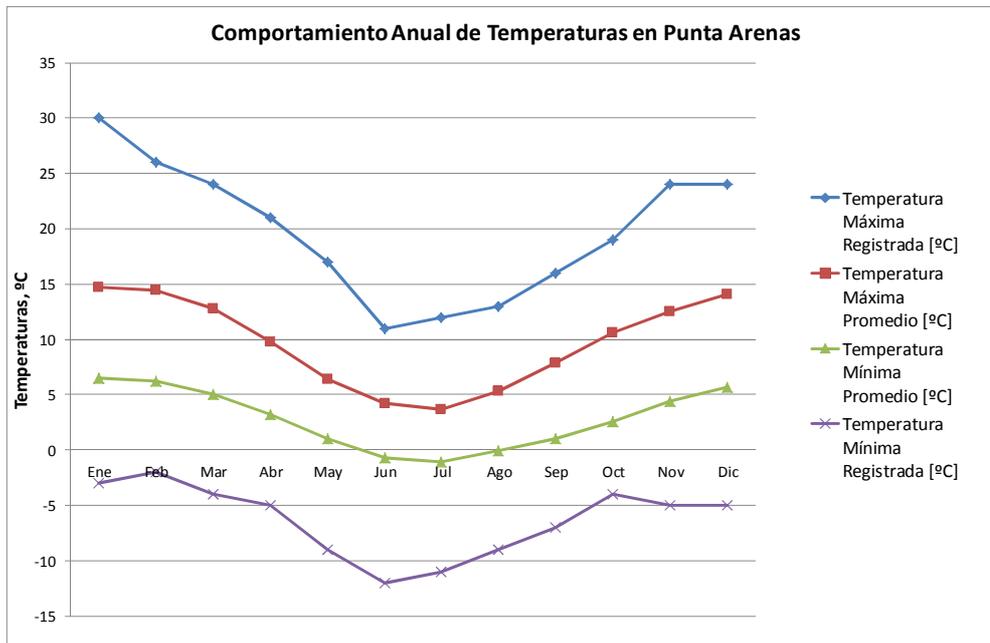
clima estepárico frío. La época estival (Diciembre a Marzo) se caracteriza por temperaturas comprendidas en el rango de -5 y 30°C, mientras que la época invernal (Abril a Noviembre) presenta temperaturas entre los -12 y los 24°C. La temperatura promedio anual es de 6,3°C. A pesar de los números anteriores, la presencia de fuertes vientos puede reducir la sensación térmica en aprox. 7°C. El comportamiento meteorológico de la ciudad se puede observar en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Estadísticas meteorológicas anuales de la ciudad de Punta Arenas.**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Máxima Registrada [°C]	30	26	24	21	17	11	12	13	16	19	24	24	30
Temperatura Máxima Promedio [°C]	14,7	14,4	12,8	9,8	6,4	4,2	3,7	5,3	7,9	10,6	12,5	14,1	9,7
Temperatura Mínima Promedio [°C]	6,5	6,2	5	3,2	1	-0,7	-1,1	-0,1	1	2,6	4,4	5,7	2,8
Temperatura Mínima Registrada [°C]	-3	-2	-4	-5	-9	-12	-11	-9	-7	-4	-5	-5	-12
Precipitaciones Promedio [mm]	38,9	27,8	29,6	36	41,6	28,2	30,2	30,2	24,2	28,7	31,7	28,6	31,3
Días Lluviosos (>= 0,1 mm)	15	14	15	14	14	9	12	11	10	9	11	14	12,3
Humedad [%]	74	74	78	82	83	84	83	83	81	75	73	74	78,7

(Fuente: *World Meteorological Organization*, ONU, registro consultado el 20/03/12).

La información de la tabla 2.1 puede ser vista como gráfico en la figura 2.1.

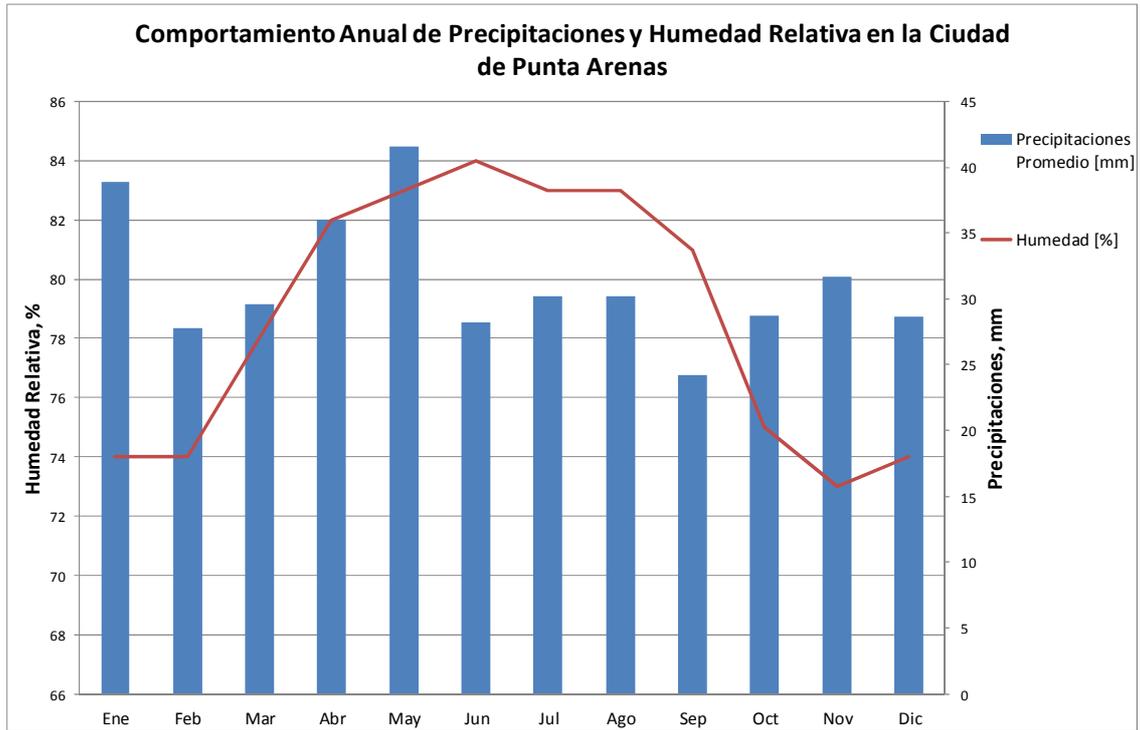


**Figura 2.1: Comportamiento anual de temperaturas en la ciudad de Punta Arenas.**

(Fuente: Elaboración propia en base a *World Meteorological Organization* (ONU), registro consultado el 20/03/12).

Se observa en la figura 2.1. que en todos los meses del año se registran temperaturas mínimas bajo 0°C. Por otro lado, las máximas registradas están siempre por sobre los 10°C, para todos los meses del año.

La figura 2.2 muestra la evolución mensual de la humedad relativa y precipitaciones promedio en la ciudad.

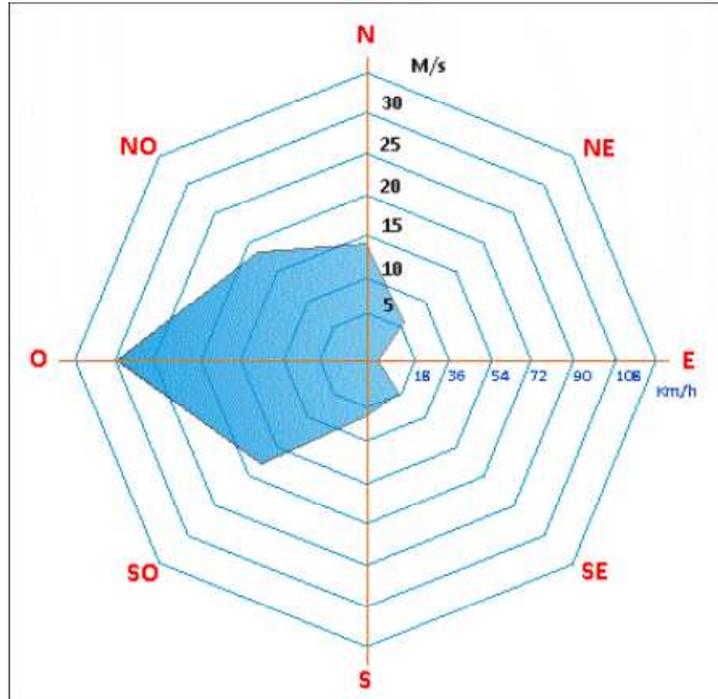


**Figura 2.2: Comportamiento anual de humedad y precipitaciones en la ciudad de Punta Arenas.**

(Fuente: Elaboración propia en base a *World Meteorological Organization* (ONU), registro consultado el 20/03/12).

Los días lluviosos (con precipitaciones por sobre los 0,1 [mm]) son del orden de 148 [días/año].

En relación a los vientos, éstos normalmente alcanzan velocidades por sobre los 100 [km/h], en donde predomina la dirección oeste, según se ve en la figura 2.3



**Figura 2.3: Patrón de los Vientos Punta Arenas.**

(Fuente: “Análisis del comportamiento en el consumo de gas natural según nivel de vulnerabilidad, familias de Punta Arenas”, 2011).

### Zona Térmica de Punta Arenas

A fin de caracterizar los diversos climas presentes en Chile, así como también contar con parámetros comunes, se desarrolló el concepto de Zonas Térmicas. Chile se dividió en siete zonas térmicas de acuerdo a la cantidad de grados día que presenta cada una en el lapso de un año. El concepto de grado día puede ser entendido como la diferencia entre la temperatura fijada como “base” y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura “base”, igualando a la “base” a aquellas superiores a ésta (Manual de aplicación de reglamentación térmica). El concepto puede ser expresado según se ve en la ecuación 2.1.

$$Grados\ Día = \sum_{i=1}^{365} \left( T_{base} - \left( \frac{T_{max,i} + T_{min,i}}{2} \right) \right) \cdot X \quad (2.1)$$

En donde:

$T_{base}$ : Temperatura base de calefacción. No debe ser confundida con la temperatura de confort.

$T_{max,i}$ : Temperatura máxima registrada el día  $i$ .

$T_{\min,i}$ : Temperatura mínima registrada el día  $i$ .

X: Operador lógico. Toma el valor de 0 cuando el promedio entre la temperatura máxima registrada y la mínima registrada del día es superior o igual a la temperatura base de calefacción. Tiene el valor 1 si no es el caso.

Entendido el concepto de grados días es posible el cálculo para la ciudad de Punta Arenas. A continuación se detalla la cantidad de grados días para distintas temperaturas base (16, 18, 20 y 22 grados Celsius) para los meses del año 2011.

**Tabla 2.2: Grados día en la ciudad de Punta Arenas, año 2011.**

Mes	Grados día en base a			
	16	18	20	22
Enero	167	227	289	351
Febrero	130,6	182,7	237,7	293,7
Marzo	205,0	266,3	328,3	390,3
Abril	301,6	361,6	421,6	481,6
Mayo	343,6	405,6	467,6	529,6
Junio	411,6	471,6	531,6	591,6
Julio	439,9	501,85	563,85	625,85
Agosto	428,5	490,5	552,5	614,5
Septiembre	355	415	475	535
Octubre	271,3	333,3	395,3	457,3
Noviembre	211,9	271,9	331,9	391,9
Diciembre	132,0	194,0	256,0	318,0
<b>Total</b>	<b>3397,8</b>	<b>4121,2</b>	<b>4850,2</b>	<b>5580,2</b>

(Fuente: Elaboración propia en base estadísticas de la Dirección Meteorológica de Chile, base Carlos Ibáñez, 2011)

Por otro lado, en la tabla 2.3 es posible ver las características, en grados día, que distinguen a cada zona térmica.

**Tabla 2.3: Clasificación de zonas térmicas.**

Zona Térmica	Grados día
1	$\leq 500$
2	$> 500 - \leq 750$
3	$> 750 - \leq 1000$
4	$> 1000 - \leq 1250$
5	$> 1250 - \leq 1500$
6	$> 1500 - \leq 2000$
7	$> 2000$

(Fuente: Manual de aplicación de reglamentación térmica)

A partir de la tabla 2.2 y 2.3 es posible concluir que la ciudad de Punta Arenas pertenece a la zona térmica 7. Lo anterior se cumple con cualquier temperatura base por sobre los 12° C, considerando la información histórica del año 2011.

## 2.1.2. Antecedentes Demográficos

En la región de Magallanes más del 93% de la población es urbana y está concentrada especialmente en las ciudades de Punta Arenas, Puerto Natales y en menor medida en Porvenir y Puerto Williams, como se observa en la tabla siguiente:

**Tabla 2.4: Distribución de población por comunal en la XII región, año 2010.**

Comuna	Urbana	Rural	Total	%
Punta Arenas <sup>(1)</sup>	121.199	3.748	<b>124.947</b>	78,8%
Puerto Natales <sup>(2)</sup>	18.706	2.368	<b>21.074</b>	13,3%
Porvenir <sup>(3)</sup>	4.893	731	<b>5.624</b>	3,5%
Otros	2.753	4.259	<b>7.012</b>	4,4%
Total <sup>(4)</sup>	147.551	11.106	<b>158.657</b>	100,0%
Porcentaje	93,0%	7,0%	100,0%	

(Fuente: Gamma Ingenieros, 2012, en base a proyección INE 2010.)

(1)Basado en distribución de la población del censo 2002 (97% urbano)

(2)Basado en distribución de la población del censo 2002 (89% urbano)

(3)Basado en distribución de la población del censo 2002 (87% urbano)

(4)Basado en distribución de la población del censo 2002 (93% urbano)

De la tabla 2.4 se observa que la población de la ciudad de Punta Arenas proyectada para el año 2010 en base al censo del 2002 es de 124.947 habitantes. La región presenta una tasa de crecimiento poblacional de 0,32% anual y una tasa de 0,2% para la ciudad de Punta Arenas (tasas utilizadas en la proyección). Puesto que el área de la región es de 17.846 [km<sup>2</sup>], la densidad poblacional es de aprox. 7 [hab/km<sup>2</sup>].

Según la encuesta Casen del año 2009, en la XII región la cantidad de viviendas urbanas y rurales son 43.178 y 2.204 viviendas respectivamente, totalizando 45.382. En el caso particular del sector de la ciudad de Punta Arenas, las proyecciones del INE para el año 2011 entregan cifras de 34.097 y 881 hogares urbanos y rurales respectivamente. Con las proyecciones de población se obtienen densidades de 3,4 y 2,8 habitantes por vivienda urbana y rural respectivamente para el año 2011 en el sector de Punta Arenas. Las densidades promedio de ocupantes por vivienda para la XII región son de 3,3 y 2,3 habitantes por vivienda en el caso urbano y rural respectivamente (Casen 2009).

La baja concentración poblacional rural se explica por la baja densidad de sectores económicos productivos fuera de las ciudades. Dentro de los rubros económicos importantes de la región se encuentran la minería (tanto de carbón como de petróleo crudo) y la ganadería.

En la ciudad la inmensa mayoría de las viviendas corresponde a construcciones de 1 ó 2 pisos, siendo escasos los edificios de departamentos. A nivel de construcción, el material predominante tanto en viviendas privadas como sociales es la madera forrada, hecho que se repita en viviendas antiguas y modernas. Existen viviendas de albañilería en una proporción mínima, en particular, en sectores acomodados de viviendas modernas. Una característica de las viviendas sociales pareadas es la existencia típica de un muro divisorio de albañilería. Un subgrupo importante de las viviendas de la ciudad corresponde a las de autoconstrucción, características de sectores modestos antiguos. Estas casas son, como su

nombre lo indica, construidas por sus propios ocupantes. Por lo general no cumplen normativas de aislación de envolvente ni cuentan con prevención de infiltraciones de aire.

A nivel de ingresos regionales, la XII región ostenta el tercer puesto nacional de ingresos, detrás de la región Metropolitana y de Antofagasta. Lo anterior se refleja en el hecho de que la región presenta uno de los menores niveles de pobreza e indigencia del país.

En la tabla 2.5 es posible ver información de la encuesta Casen 2009 en relación a la distribución de ingresos en la región.

**Tabla 2.5: Distribución de ingresos en la XII región, año 2009.**

Región	Zona	Quintil Autónomo Regional	Hogares	Población	Promedio de personas en el Hogar	Promedio Ingreso Autónomo Hogar	Ingreso autónomo per-cápita del hogar		
							Promedio	Mínimo	Máximo
XII región, Magallanes Y La Antártica Chilena	Urbano	I	8.278	30.024	3,6	161.704	39.422	0	79.806
		II	9.001	30.564	3,4	368.756	108.543	79.928	129.644
		III	8.697	31.507	3,6	602.944	165.945	130.075	196.138
		IV	8.671	26.599	3,1	734.282	239.782	196.792	291.745
		V	8.531	22.666	2,7	1.917.110	1.028.675	292.300	-
		<b>Total</b>	<b>43.178</b>	<b>141.360</b>	<b>3,3</b>	<b>755.556</b>	<b>315.006</b>	<b>0</b>	<b>-</b>
	Rural	I	671	1.700	2,5	68.581	24.794	0	77.025
		II	204	429	2,1	208.357	100.483	81.033	126.500
		III	500	1.393	2,8	488.943	172.958	132.643	196.050
		IV	298	723	2,4	571.302	240.137	197.830	290.764
		V	531	880	1,7	1.718.050	1.232.928	293.722	-
		<b>Total</b>	<b>2.204</b>	<b>5.125</b>	<b>2,3</b>	<b>642.253</b>	<b>385.599</b>	<b>0</b>	<b>-</b>
	Total	I	8.949	31.724	3,5	154.721	38.325	0	79.806
		II	9.205	30.993	3,4	365.201	108.365	79.928	129.644
		III	9.197	32.900	3,6	596.747	166.326	130.075	196.138
		IV	8.969	27.322	3,0	728.867	239.794	196.792	291.745
		V	9.062	23.546	2,6	1.905.446	1.040.644	292.300	-
<b>Total</b>		<b>45.382</b>	<b>146.485</b>	<b>3,2</b>	<b>750.053</b>	<b>318.435</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	

(Fuente: Encuesta Casen 2009)

De la tabla 2.5 se desprende que el ingreso promedio per cápita a nivel de hogar en la región es de \$318.435. El quinto quintil ostenta un ingreso promedio equivalente a aprox. el cuádruple del cuarto quintil (\$1.040.644 vs. \$239.794 respectivamente) o aprox. 27 veces el ingreso del primer quintil, situación que da cuenta de la desigualdad en la región.

## 2.2. Antecedentes energéticos de la XII región

A continuación se detallan estadísticas de la región en relación a la producción y consumo de combustibles y energía eléctrica.

## 2.2.1. Combustibles

### Producción de combustibles y Reservas

A una distancia aproximada de 90 kilómetros de la ciudad de Punta Arenas se encuentra la Refinería Gregorio, controlada por la empresa ENAP. Gregorio es una de las tres refinerías de petróleo crudo existentes en el país, siendo la de menor capacidad productiva, procesando el 1,3% del total de crudo refinado en el país.

En la tabla 2.6 es posible observar la producción mensual de combustibles en Gregorio para el año 2010.

**Tabla 2.6: Producción de combustibles en Refinería Gregorio, año 2010.**

Producto	Producción Refinería Gregorio, año 2010 (m3)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Gas Licuado (1)	40.798	51.222	55.152	76.672	75.492	68.229	67.314	66.625	54.230	50.873	52.887	52.374	<b>711.868</b>
Gasolina Automóvil (2)	2.783	2.445	2.996	646	2.082	2.790	583	2.805	2.803	2.099	2.857	3.155	<b>28.044</b>
Kerosene	1.465	-	2.368	1.829	5.125	3.874	-	2.125	3.389	3.042	-	4.253	<b>27.470</b>
Diesel (3)	1.029	-	5.204	3.747	9.743	6.990	-	4.009	6.403	6.605	-	7.589	<b>51.319</b>
Gasolina Bases	2.300	3.037	3.354	3.465	3.066	2.729	3.063	2.650	2.819	2.995	2.909	3.005	<b>35.395</b>
Nafta	1.776	-	4.775	5.479	12.117	10.400	-	6.784	11.016	6.436	-	8.749	<b>67.532</b>
Crudo Reducido	5.659		13.209	9.130	20.976	16.920	-	10.291	13.986	13.197	-	16.732	<b>120.100</b>
<b>Total Mensual</b>	<b>55.810</b>	<b>56.704</b>	<b>87.059</b>	<b>100.967</b>	<b>128.601</b>	<b>111.933</b>	<b>70.960</b>	<b>95.289</b>	<b>94.646</b>	<b>85.247</b>	<b>58.653</b>	<b>95.858</b>	<b>1.041.727</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

(1) Gas licuado comprende la producción de Propano y Butano.

(2) Gasolina Automóvil comprende la producción de gasolina de 93 y 97 octanos, sin plomo.

(3) Producción de Diesel tipo B.

Se debe mencionar que la planta de fraccionamiento Cabo Negro produce propano, butano y gasolina natural, producción que las estadísticas de SEC asignan a Gregorio.

Considerando las producciones de las otras dos refinerías del país (Aconcagua y Bío Bío), se tiene que la producción de Gregorio con respecto al total nacional presenta los siguientes porcentajes (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7: Producción de combustibles en el país, año 2010.**

Producto	Producción anual ENAP, 2010 (m3) (1)			Porcentaje de Gregorio c/r país
	Aconcagua	Bío Bío	Gregorio	
Gas Licuado (2)	396.026	129.844	711.868	57,5%
Gasolina Automóvil (3)	1.581.908	963.784	28.044	1,1%
Kerosene	497.537	269.141	27.470	3,5%
Diesel (4)	1.898.490	1.506.401	51.319	1,5%
Gasolina Bases	9.296	41.904	35.395	40,9%
Nafta	26.084	14.297	67.532	62,6%
Crudo Reducido (5)	-	-	120.100	100,0%

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

- (1) Se considera sólo las categorías de combustibles producidas en Gregorio para comparativa.
- (2) Gas licuado comprende la producción de Propano y Butano.
- (3) Gasolina Automóvil comprende la producción de gasolina de 93 y 97 octanos, sin plomo.
- (4) Producción de Diesel tipo B.
- (5) Crudo reducido es sólo producido en Gregorio.

Se observa que la producción de gas licuado en Gregorio es importante, al igual que las gasolinas base y Nafta. No es el caso de la gasolina de automóvil, el Kerosene y el Diesel en donde la producción es insignificante en relación a la producción nacional.

En la tabla siguiente se observa la cantidad de gas natural procesado en la planta Gregorio por trimestre para el año 2010.

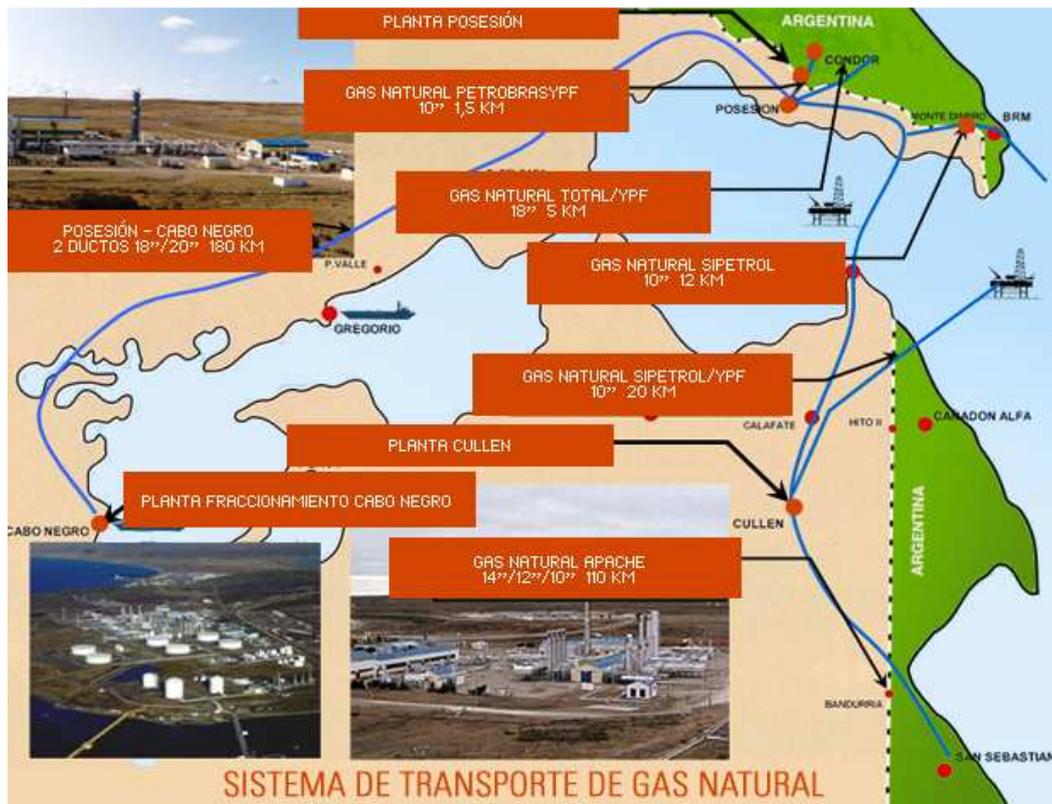
**Tabla 2.8: Gas Natural procesado en planta Gregorio, año 2010.**

Periodo	Gas Natural Procesado en Gregorio, 2010
	[Mm3]
Primer Trimestre	292.205
Segundo Trimestre	363.667
Tercer Trimestre	368.195
Cuarto Trimestre	351.676
<b>Total</b>	<b>1.375.743</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

La cantidad de gas natural procesado en Gregorio corresponde a la totalidad del país, es decir, a nivel nacional el procesamiento de gas natural es responsabilidad exclusiva de esta planta. Según información entregada por la "Oil and Gas Journal" (2006) las reservas probadas de gas natural en Chile (y por lo tanto en la región de Magallanes) ascienden a 98.000 MM de m<sup>3</sup>.

El sistema de provisión de gas natural para la ciudad puede ser visto en la siguiente figura que da cuenta de los gasoductos y plantas involucradas en el proceso de abastecimiento.



**Figura 2.4: Puntos de extracción y red de distribución de gas natural en la XII región.**  
(Fuente: Enap, [www.enap.cl](http://www.enap.cl))

Como se observa en la figura 2.4 el abastecimiento de gas natural para la ciudad de Punta Arenas es mediante dos gasoductos (de 18" y 20" de diámetro) de 180 [km] de longitud. Dichos ductos conectan Posesión con la planta de Fraccionamiento Cabo Negro. Los ductos también proveen de materias primas a la empresa Methanex, productora de metanol. Posesión es receptora de gas natural por ductos provenientes de Argentina o territorio nacional. Puerto Natales se abastece de gas natural proveniente de Puerto Tranquilo, mientras que Porvenir lo hace desde los yacimientos de ENAP en Tierra del Fuego.

En relación a la producción de hidrocarburos en la región se debe detallar la existencia de la figura de los Contratos Especiales de Operación Petrolera (CEOP). Puesto que la normativa chilena no permite la quema o venteo del gas natural obtenido como subproducto de la extracción de petróleo, la operación de los operadores de CEOP resulta interesante en la producción regional de gas natural.

Los CEOP son a un plazo máximo de 35 años. Retribución al contratista mediante hidrocarburos que deben ser comercializados. El Estado tiene el derecho preferente de compra de esos hidrocarburos.

Los CEOP fueron asignados el año 2008 mediante licitación internacional a 9 operadores, siendo estos los siguientes (entre paréntesis las empresas ganadoras de la licitación):

- Coirón (Pan American Energy Ltd.).

- Caupolicán (Greymouth Petromagallanes).
- Lenga (Apache).
- Tranquilo (IPR Manas).
- Russfin (Apache).
- Porvenir (Greymouth Petromagallanes).
- Brótula (Greymouth Petromagallanes).
- Isla Magdalena (Greymouth Petromagallanes).
- Otway (consorcio de Wintershall, Geopark y Methanex)

Los tres primeros bloques mencionados operan en conjunto con Enap (50% de derechos de explotación cada uno, el oferente es la compañía explotadora del recurso), mientras que los seis últimos operan con un 100% de derechos de explotación.

Por último, en materia de combustibles en la zona, se debe señalar la existencia de yacimientos de carbón. La cuenca carbonífera de Magallanes, en conjunto con la del Golfo de Arauco (actualmente prácticamente agotada), son las de mayor tamaño del país. Las reservas de carbón de la cuenca Magallánica (en suelo chileno) pueden observarse en la siguiente tabla.

**Tabla 2.9: Reservas de carbón en la región de Magallanes.**

<b>Sector o Distrito</b>	<b>Reservas (Miles de Ton)</b>
Rubens-Natales (Dorotea)	550
Skyring (Río Verde)	150
Isla Riesco	3.250
Península de Brunswick	1.450
<b>Total</b>	<b>5.400</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Pedrals, 1990)

Según la tabla 2.9. existen en la región reservas por 5.400.000 toneladas de carbón sub bituminoso, tipo lignito. A pesar de lo anterior, se estima que sólo un 7% de la reserva es factible de ser explotada, es decir, aproximadamente 380.000 toneladas. Los poderes caloríficos del carbón de la región son decrecientes a medida que aumenta la latitud y van entre las 4.000 y las 5.700 [kcal/kg].

### **Consumo de combustibles**

A partir de las estadísticas de las ventas de ENAP y distribuidoras registradas por SEC para el año 2010, se observan en la tabla 2.10 el comportamiento del consumo de combustibles en la duodécima región.

**Tabla 2.10: Ventas de combustibles en XII región, año 2010.**

Producto	Ventas de combustibles de ENAP y distribuidores en la región de Magallanes, año 2010												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Gas Licuado (m3) (1)	58	75	86	92	79	89	96	89	83	87	89	90	1.013
Gas Natural (Mm3)	19.951	18.644	21.263	27.230	29.723	31.984	37.423	35.250	33.306	28.396	24.057	24.859	332.086
Gasolina (m3) (2)	2.145	1.955	2.383	1.975	1.921	1.836	1.921	2.017	2.154	2.288	4.282	2.692	27.568
Kerosene (m3) (3)	2.989	2.516	1.996	1.492	1.563	1.190	1.613	1.062	1.303	1.808	3.004	3.043	23.580
Petróleo Combustible (m3) (4)	-	-	28	27	-	-	-	-	-	-	-	-	55
Diesel (m3) (5)	7.320	5.869	9.325	6.856	7.297	6.038	4.039	5.388	6.965	6.143	9.753	8.199	83.193

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

- (1) Considera gas licuado vendido en cilindros y a granel. No existe inyección a la red. Densidad de 0,51 Ton/m<sup>3</sup>.
- (2) Considera gasolina de automóvil y de aviación.
- (3) Kerosene de aviación. No se registra venta de kerosene doméstico.
- (4) Petróleo combustible del tipo 6.
- (5) Diesel, Diesel A1, Diesel B y Diesel invernal.

De acuerdo a lo que se observa en la tabla 2.6 y 2.10 es posible observar que el consumo de gas licuado de la región se encuentra cubierto por la producción de Gregorio, quedando remanentes para el resto del país. La producción de gasolina en Gregorio permite cubrir casi por completo el consumo regional, situación que se repite con el Kerosene de aviación. El Diesel debe ser traído de otras regiones para satisfacer la demanda.

Se observa también la marcada estacionalidad en el consumo de combustibles. En los meses de invierno aumentan los consumos de gas licuado y gas natural, hecho explicable por las bajas temperaturas. Situación contraria se observa con el Diesel, gasolina y kerosene, combustibles que ven disminuido su consumo en los meses invernales. Lo anterior es explicable por las condiciones climáticas que desincentivan los desplazamientos en la región.

Desde el 1 de julio de 1981 Gasco S.A. se adjudicó la red de distribución, instalaciones y equipos necesarios para la provisión de gas natural y licuado provisto por Enap para las ciudades de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir. En la actualidad Gasco cuenta con más de 50.000 usuarios en la región.

El consumo de gas natural distribuido por Gasco entre los años 2006 y 2010 para distintos sectores puede ser visto en la tabla siguiente.

**Tabla 2.11: Consumo de Gas Natural distribuido, por sector años 2006 a 2010.**

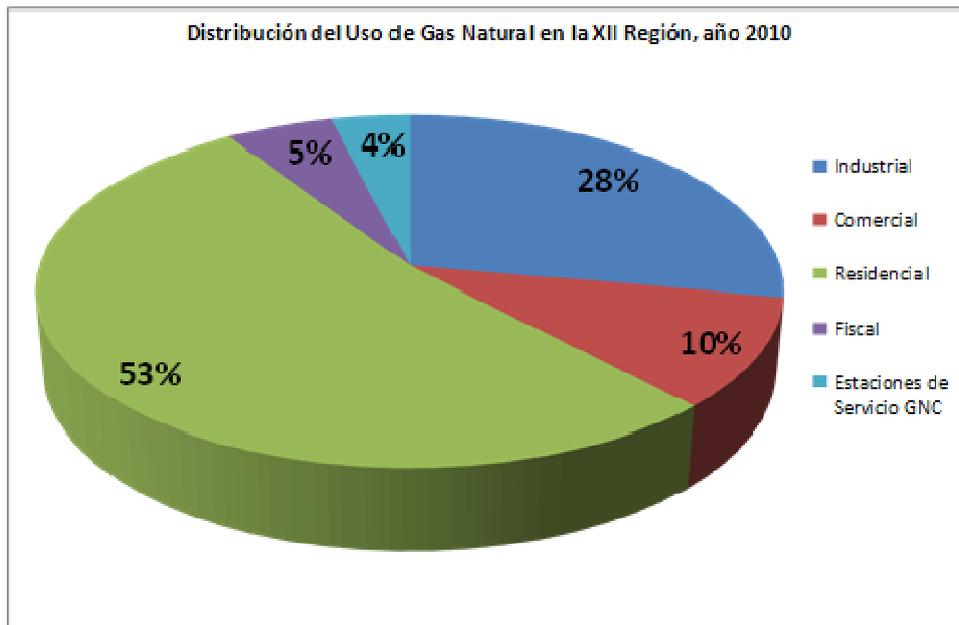
Año	Consumos GN por Sector, XII Región (Mm3)							Crecimiento 5 años
	Industrial	Comercial	Residencial	Fiscal	Estaciones de Servicio GNC	Total anual	Variación anual	
2006	81.218	28.699	158.853	15.612	10.585	294.969	-	11%
2007	88.886	31.680	167.721	16.393	10.488	315.169	6,4%	
2008	90.449	31.632	164.721	15.765	10.851	313.418	-0,6%	
2009	90.811	33.782	174.099	16.217	12.012	326.921	4,1%	
2010	92.378	33.749	175.446	17.605	12.908	332.086	1,6%	
Total 2006 al 2010	443.742	159.543	840.841	81.592	56.845	1.582.563		

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

A partir de la tabla 2.11 es posible observar que el consumo de gas distribuido ha aumentado en un 11% entre los años 2006 y 2010. A pesar de lo anterior, el crecimiento no ha sido sostenido, es el caso del periodo 2007-2008 en que hubo un decrecimiento de 0,6% en el consumo. A pesar del aumento en el consumo de gas natural, en el periodo 2006-2010 se observa una variación del PIB regional de un -14,5%<sup>2</sup>. Luego, por sobre el crecimiento comercial e industrial, es razonable relacionar el aumento del consumo de gas natural en la región al aumento del consumo residencial, siendo éste preponderante en comparación a los consumos de sectores comerciales e industrial (que también son crecientes en el periodo). El consumo residencial es el preponderante en la región, casi duplicando al consumo industrial, su más cercano seguidor.

El uso del gas natural distribuido por Gasco en la región para el año 2010, en los distintos sectores, puede ser visto en la figura 2.5.

<sup>2</sup> En base al 2006. Información del Banco Central de Chile y obtenida en función del PIB regional en pesos del año 2003.



**Figura 2.5: Distribución de consumo de Gas Natural distribuido por Sectores en XII región, año 2010.**

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC 2010)

Se observa en la figura la importancia del sector residencial en el consumo del gas natural distribuido de la región con un 53% del total. El uso del gas natural a nivel residencial se explica por la calefacción, la generación de agua caliente sanitaria y la elaboración de alimentos. En segundo lugar de intensidad de uso se ubica el sector industrial, con un 28%. Del sector industrial resulta importante el consumo asociado a la operación de Edelmag, generadora eléctrica.

En el mercado del gas natural otro actor importante es la empresa de origen canadiense Methanex, la cual cuenta con contratos de provisión directa con Enap. El consumo aproximado de Methanex asciende a 2,2 [MMm<sup>3</sup>] diarios, siendo esta cantidad sólo un 25% de lo acordado en los contratos con Enap.

Considerando la cifra anterior (para un periodo de 365 días se tiene un consumo de 803 millones de [m<sup>3</sup>] por parte de Methanex) y el total del consumo regional para el año 2010 (332 millones de [m<sup>3</sup>]), es posible afirmar que el consumo de Methanex representa un 70,7% de la cantidad total de gas natural consumido en la región. Las cifras anteriores no resultan nada despreciables si se considera que las reservas probadas de Gas Natural en Chile ascienden a 98.000 MM de [m<sup>3</sup>] (Oil and Gas Journal, 2006), por lo que se contaría con reservas para aproximadamente 86 años, considerando el consumo del año 2011, consumo que sin embargo es creciente a una tasa aproximada de 11% cada 5 años, según la tabla 2.11.

Para interés del trabajo vale la pena profundizar en el comportamiento residencial para el consumo de gas. De acuerdo a Gamma Ingenieros (2012) la calefacción en la región se lleva a cabo casi exclusivamente mediante el uso de gas natural, existiendo casos excepcionales de uso de leña y electricidad como complemento a la calefacción principal

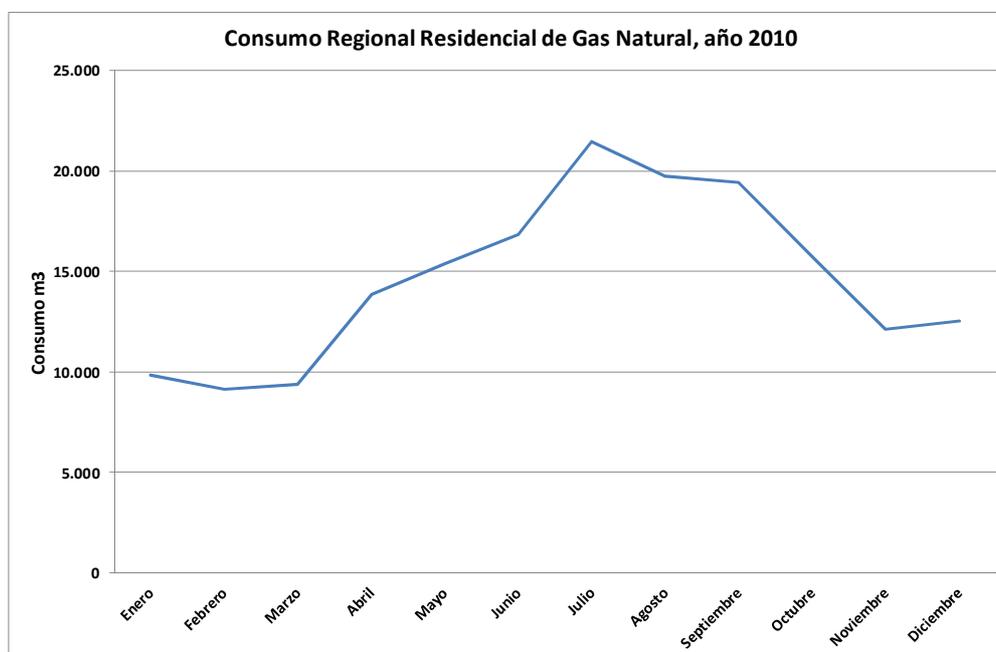
con gas natural. No se detectó uso alguno de kerosene para calefacción. De acuerdo a lo anterior, se detalla el uso residencial de gas natural en la región, durante el año, en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12: Consumo Residencial de Gas Natural en XII región.**

Mes	Consumo Residencial de Gas Natural (Mm3)				
	2006	2007	2008	2009	2010
Enero	7.521	9.187	9.137	9.356	9.853
Febrero	7.701	8.393	7.490	7.959	9.114
Marzo	8.060	9.149	7.686	8.801	9.392
Abril	13.259	12.486	10.879	13.660	13.870
Mayo	13.201	15.598	16.606	17.046	15.357
Junio	17.412	17.742	17.478	16.207	16.845
Julio	18.179	19.694	18.902	19.611	21.474
Agosto	17.973	17.863	21.249	19.941	19.758
Septiembre	17.801	18,026	17.648	17.558	19.406
Octubre	14.498	13.316	14.124	16.261	15.741
Noviembre	12.549	15.319	14.527	15.425	12.119
Diciembre	10.699	10.949	8.994	12.273	12.516
<b>Total</b>	<b>158.853</b>	<b>149.714</b>	<b>164.720</b>	<b>174.098</b>	<b>175.445</b>

(Fuente: Elaboración propia, en base a SEC)

Se grafica en la figura 2.6 el comportamiento del consumo residencial de gas natural para el año 2010, usándose dicho año como referencia del comportamiento.



**Figura 2.6: Evolución del consumo de Gas Natural residencial en la XII región, 2010.**  
(Fuente: Elaboración propia)

Se observa en la figura 2.6 que los menores consumos se producen en los meses de verano, mientras que los mayores se dan en los meses de julio, agosto y septiembre. Se debe señalar que el consumo de Gas Natural en invierno excede al doble del consumo de verano, situación explicable por la mayor demanda de calefacción y mayores requerimientos térmicos para la generación de agua caliente sanitaria (agua de red es provista más helada).

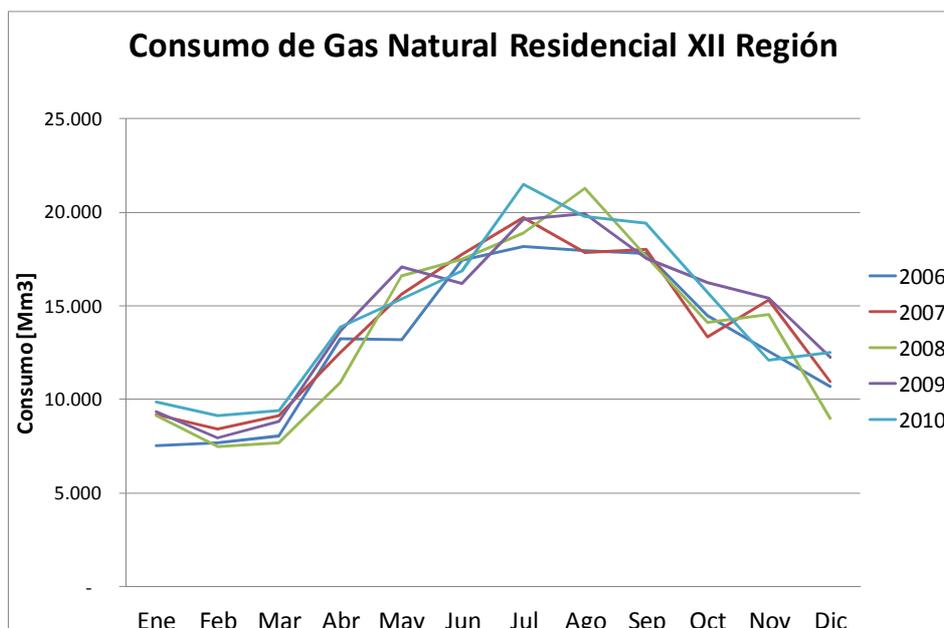
#### Comportamiento residencial en consumo de gas natural

La existencia de yacimientos de gas natural en la misma región evita que el procedimiento de transporte desde el punto de extracción hasta el punto de consumo requiera los procesos de licuación y regasificación del combustible. Lo anterior abarata los costos de manera considerable, lo que sumado a los beneficios en tarifa al ser Punta Arenas una zona extrema, promueve el uso del gas natural en todos los ámbitos de la sociedad.

Como se puede apreciar en la figura 2.5, el consumo residencial de gas natural representa el 53% del total distribuido. Si a lo anterior se suma la marcada estacionalidad observable en la figura 2.7, es posible inferir que el consumo del gas natural es explicado en su gran mayoría por la calefacción.

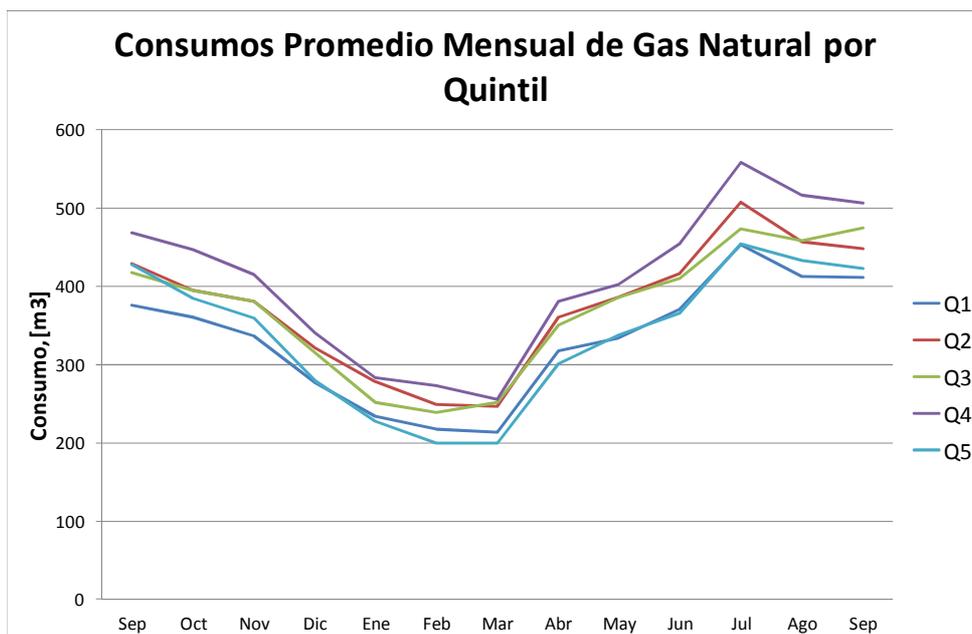
La gran demanda se ve acentuada por las condiciones de las viviendas de los sectores más vulnerables. Dichas construcciones (SERVIU antiguas, las viviendas previas a 1970 son en su gran mayoría de autoconstrucción, etc.) por lo general no cuentan con ningún tipo de aislación, presentan abundantes infiltraciones que a su vez se ven acentuadas por la costumbre de construir las casas sobre pilotes.

Dadas las condiciones actuales de las viviendas, resulta interesante conocer el comportamiento mensual del consumo de gas natural para los cinco quintiles de Punta Arenas (figura 2.8).



**Figura 2.7: Estacionalidad del consumo de gas natural, 2006 a 2010.**

(Fuente: Elaboración propia en base a SEC, 2010)

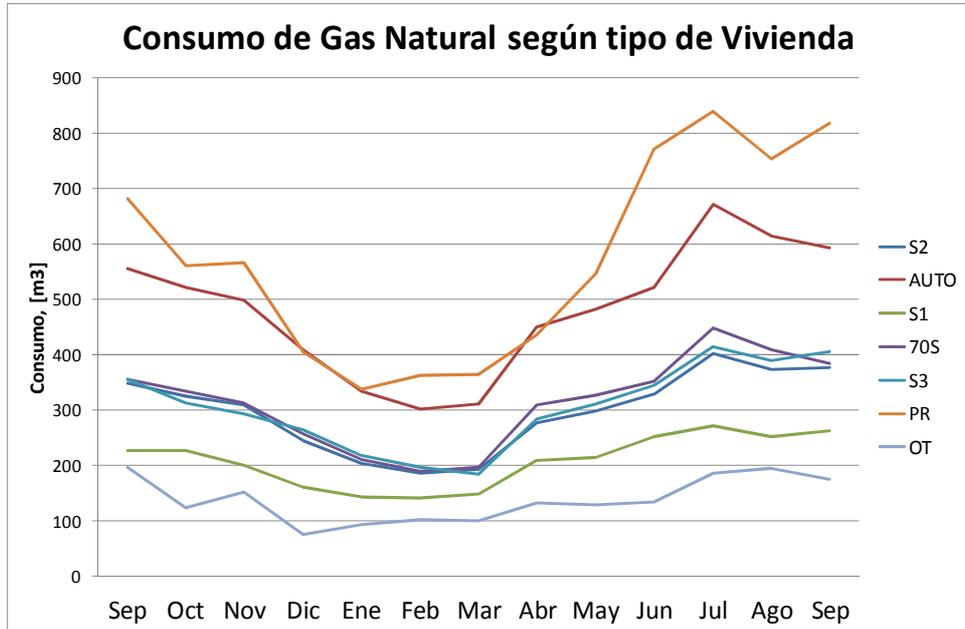


**Figura 2.8: Estacionalidad del consumo promedio de gas natural por quintiles.**  
(Fuente: Elaboración propia a partir de “Análisis del comportamiento en el consumo de gas natural según nivel de vulnerabilidad, familias de Punta Arenas”, 2011)

En la figura 2.8 es posible observar que los consumos del Q1 y Q5 no difieren mayormente, siendo ligeramente superiores los del Q5. Puesto que es esperable que las viviendas del Q5 sean de mayor envergadura a las del Q1, se puede inferir que la calidad de la construcción hace equiparar los consumos. El Q4 presenta los mayores consumos promedio mensuales.

Por último, para conocer la demanda de gas natural de forma detallada, es interesante conocer el comportamiento del consumo según el tipo de vivienda (figura 2.9). El estudio “Análisis del comportamiento en el consumo de gas natural según nivel de vulnerabilidad, familias de Punta Arenas” (Foretich, 2011) hace la distinción en las siguientes categorías de viviendas:

- AUTO: De autoconstrucción, años 60, 70 y anteriores.
- S1: Viviendas del Serviu, años 85 a 95 aproximadamente.
- S2: Viviendas del Serviu, años 95 a 2004 aprox.
- S3: Viviendas del Serviu a partir del año 2005.
- 70S: Planes especiales de vivienda en la década de los 70.
- PR: Planes privados
- OT: Otras calificaciones



**Figura 2.9: Estacionalidad del consumo promedio de gas natural según tipo de vivienda.** (Fuente: Análisis del comportamiento en el consumo de gas natural según nivel de vulnerabilidad, familias de Punta Arenas, 2011)

Se observa que las viviendas de la categoría OT son las de menor consumo promedio. Es interesante notar que las viviendas AUTO casi duplican en consumo de gas natural a las del Serviu. Las de mayor consumo corresponden a las viviendas de la categoría PR.

### 2.2.2. Eléctrico

En la actualidad Chile cuenta con cuatro sistemas eléctricos de alta potencia: El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), el Sistema Interconectado Central (SIC), el Sistema Eléctrico de Aysén y el Sistema Eléctrico de Magallanes. Los cuatro sistemas eléctricos anteriores son independientes entre sí, en los cuales operan 50 empresas generadoras y 39 distribuidoras, las que para el año 2009 generaron y distribuyeron una oferta agregada de 58.392 [GWh] de energía (INE, 2010).

El sistema Eléctrico de Magallanes (de ahora en adelante SEM), como su nombre lo indica, se ubica en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena, abarcando de manera independiente a las ciudades de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir, lo anterior en una superficie de 38.400 [km<sup>2</sup>]. El SEM cuenta con una capacidad instalada de generación eléctrica neta de 89,1 [MW] de potencia (CNE, 2010), equivalentes al 0,7% del total nacional para el año 2009 (INE, 2010). Como es posible ver en la tabla 2.13, la generación eléctrica del SEM es de origen exclusivamente térmico, no existiendo generación eléctrica de tipo hidráulico o de fuentes renovables no convencionales registradas.

Un detalle no menor que es apreciable en la tabla 2.13 es la existencia de un monopolio en el SEM por parte de la empresa Edelmag S.A., dueña de la totalidad de las plantas

generadoras. Edelmag es además la controladora de las líneas de transmisión y de la distribución de la energía eléctrica a los consumidores finales.

En relación al sistema de Punta Arenas, de la tabla 2.13 se observa que cuenta con una capacidad instalada de 74,74 [MW], repartidos en 70,96 [MW] en la central Tres Puentes y 3,78 [MW] en la central Punta Arenas.

**Tabla 2.13: Detalle de potencia instalada de generación en el SEM, por sub-sistemas. Diciembre de 2010.**

Sistema	Propietario	Nombre Central	Unidad	Año Puesta en Servicio	Tipo de Combustible	Potencia Bruta Total MW	Potencia Neta Total MW
Punta Arenas	EDEL MAG S.A.	Tres Puentes	Turbina Hitachi	1985	Gas Natural	24,00	<b>21,60</b>
			Turbina Solar	2003	Gas Natural	13,70	<b>12,33</b>
			Turbina Solar	1996	Gas Natural	10,00	<b>9,00</b>
			Turbina GE-10	2006	Gas Natural	10,50	<b>9,45</b>
			Turbina Solar	2008	Gas Natural	15,00	<b>13,50</b>
			Motor Caterpillar	1998	Gas Natural	2,72	<b>2,45</b>
			Motor Caterpillar	1994	Diesel	1,46	<b>1,31</b>
		Motor Caterpillar	1994	Diesel	1,46	<b>1,31</b>	
		Punta Arenas	Motor Sulzer	1955	Diesel	1,40	<b>1,26</b>
				1955	Diesel	1,40	<b>1,26</b>
1955	Diesel			1,40	<b>1,26</b>		
Puerto Natales	EDEL MAG S.A.	Puerto Natales	Motor Waukesha	2001	Gas Natural	1,18	<b>1,06</b>
			Motor Waukesha	2006	Gas Natural	1,18	<b>1,06</b>
			Motor Jenbacher	2008	Gas Natural	1,42	<b>1,28</b>
			Turbina Solar	1977	Gas Natural	0,80	<b>0,72</b>
			Turbina Solar	1977	Gas Natural	0,80	<b>0,72</b>
			Motor Palmero	2008	Diesel	1,36	<b>1,22</b>
			Motor F. Morse	1961	Diesel	0,30	<b>0,27</b>
			Motor Caterpillar	1996	Diesel	1,50	<b>1,35</b>
Porvenir	EDEL MAG S.A.	Porvenir	Motor Waukesha	2003	Gas Natural	1,18	<b>1,06</b>
			Motor Waukesha	2006	Gas Natural	1,18	<b>1,06</b>
			Motor Waukesha	1983	Gas Natural	0,88	<b>0,79</b>
			Motor Palmero	2008	Diesel	1,36	<b>1,22</b>
			Motor Caterpillar	1998	Diesel	0,92	<b>0,83</b>
Puerto Williams	EDEL MAG S.A.	Puerto Williams	Motor Caterpillar	2005	Diesel	0,59	<b>0,53</b>
			Motor Caterpillar	1999	Diesel	0,73	<b>0,66</b>
			Motor Caterpillar	1994	Diesel	0,35	<b>0,32</b>
			Motor Cummins	2006	Diesel	0,25	<b>0,23</b>
<b>Total Regional</b>						<b>99,00</b>	<b>89,10</b>

(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE, 2011)

De la tabla 2.13, es posible desprender las siguientes características del SEM (tablas 2.14 a 2.16).

**Tabla 2.14: Resumen de potencia instalada en Sistema eléctrico de Magallanes.**

Empresa Operadora	Potencia Neta Instalada (MW)	Potencia Neta Instalada (%)
EDEL MAG S.A.	89,1	100,0%
<b>Potencia Total Instalada</b>	<b>89,1</b>	<b>100,0%</b>

(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE, 2011)

**Tabla 2.15: Uso de combustibles en la generación eléctrica.**

<b>Tipo de Combustible</b>	<b>Potencia Neta Instalada (MW)</b>	<b>Potencia Neta Instalada (%)</b>
Gas Natural	76,1	85,4%
Diesel	13,0	14,6%
<b>Potencia Total Instalada</b>	<b>89,1</b>	<b>100,0%</b>

(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE, 2011)

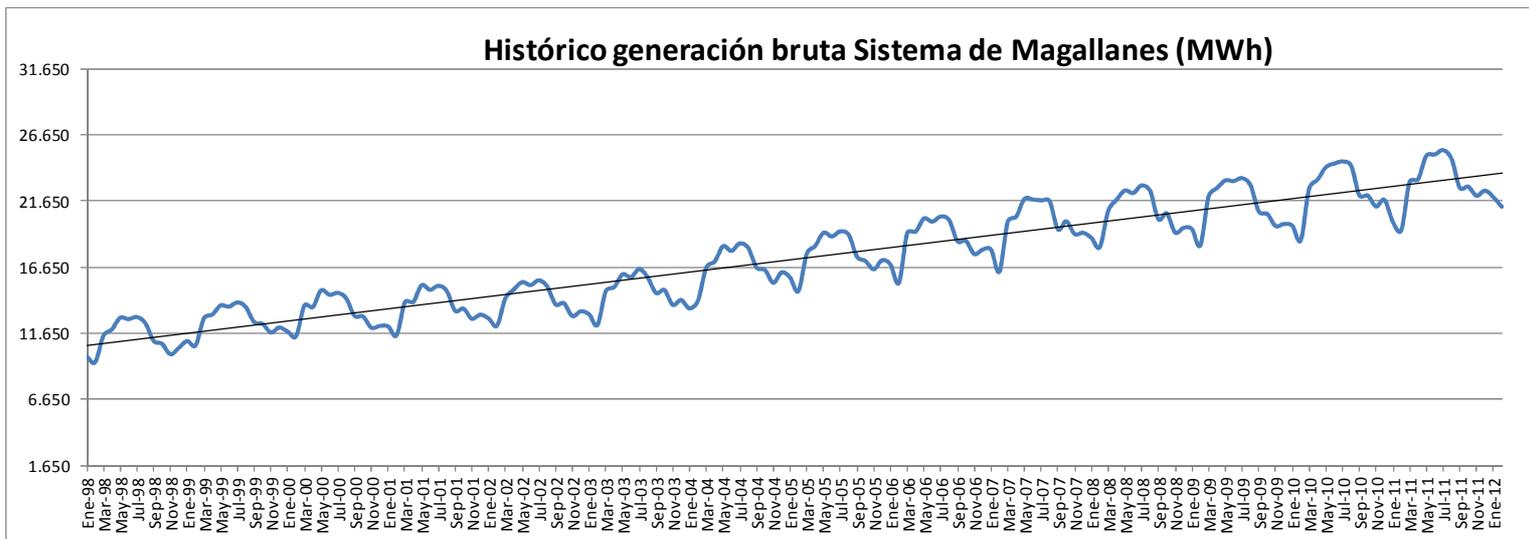
**Tabla 2.16: Tipo de Centrales en Magallanes.**

<b>Tipo de Central</b>	<b>Potencia Neta Instalada (MW)</b>	<b>Potencia Neta Instalada (%)</b>
Termoeléctrica	89,1	100,0%
Hidroeléctrica	0,0	0,0%
<b>Potencia Total Instalada</b>	<b>89,1</b>	<b>100,0%</b>

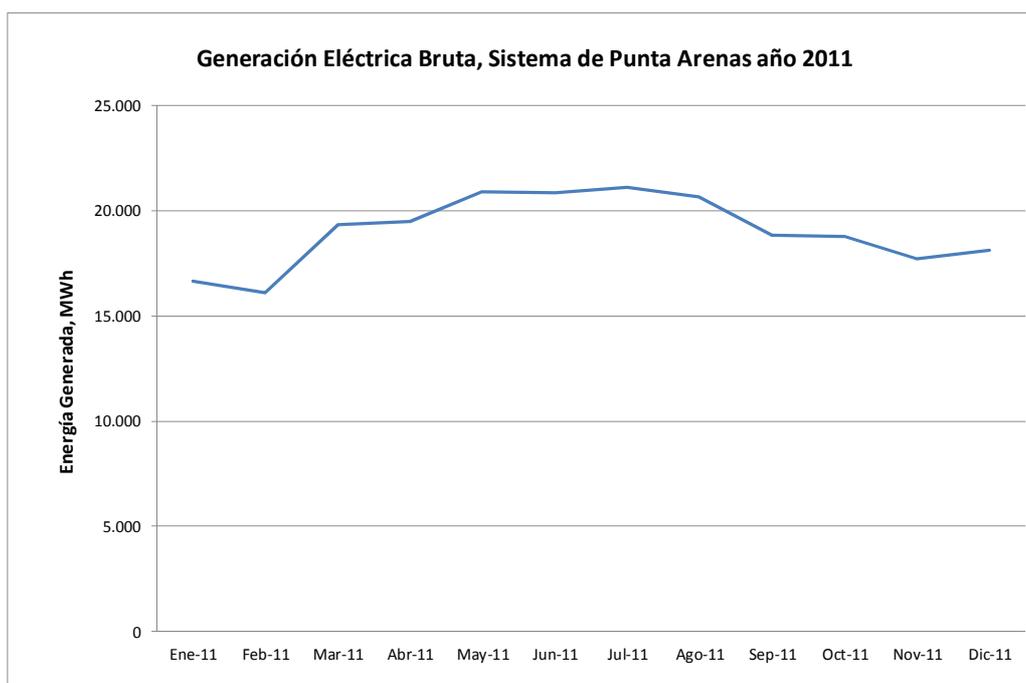
(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE, 2011)

Como se observa en la tabla 2.14, la potencia instalada es de 89,1 [MW], siendo el 100% de tipo termoeléctrico (tabla 2.16), en donde el 85,4% de la capacidad instalada, 76,1 [MW], consume gas natural como combustible y el 14,6% restante utiliza Diesel en la generación (de tabla 2.15).

Al igual que en el resto del país la demanda por energía eléctrica en la región es creciente, lo que da cuenta la figura 2.10. Se observa además la estacionalidad anual en la generación eléctrica. Del registro histórico se observa que los meses de julio corresponden a los de mayor generación eléctrica. En contraste, los meses de menor energía eléctrica generada corresponden a enero o febrero. Lo anterior se puede ver en detalle para el año 2011 en la figura 2.11.



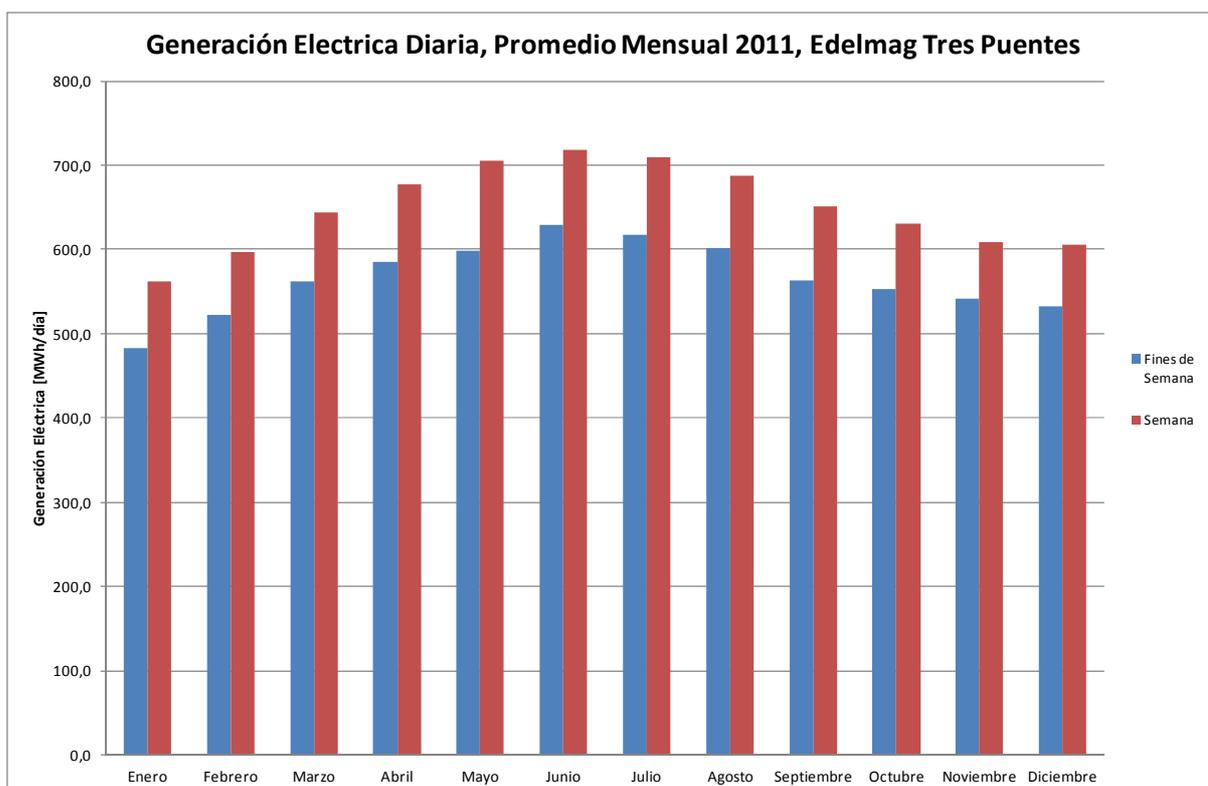
**Figura 2.10: Evolución de la generación eléctrica en la XII región, años 1998 a febrero de 2012.**  
(Fuente: CNE 2012 en base a “Generación Mensual de Energía”, Edelmag S.A.)



**Figura 2.11: Evolución de la generación eléctrica en sistema Punta Arenas, año 2011.**  
(Fuente: Elaboración propia en base a “Generación Mensual de Energía”, Edelmag S.A., CNE 2012)

En el sistema de Punta Arenas se generaron 228.542 [MWh] de energía eléctrica durante el año 2011. La cifra anterior se descompone en 27 [MWh] para la central Punta Arenas y 228.515 [MWh] en la central Tres Puentes. Resulta interesante considerar la generación eléctrica de la central Tres Puentes, a gas natural en ciclo abierto, como una fuente muy

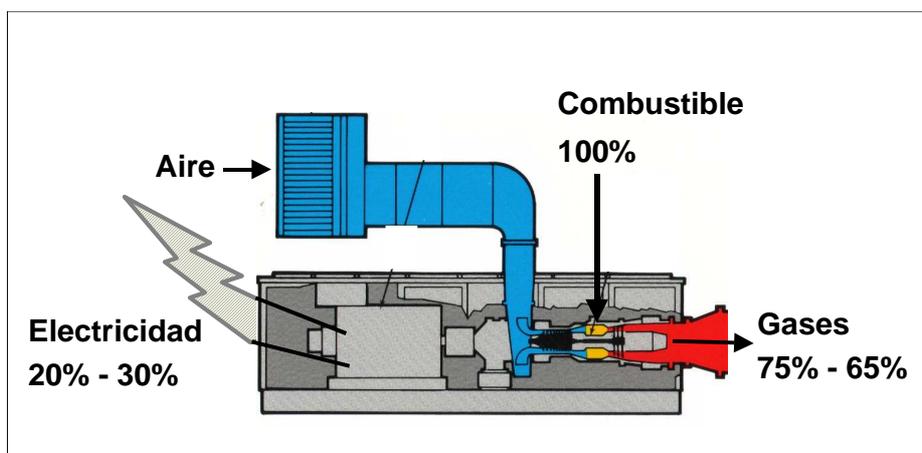
interesante de aprovechamiento mediante la recuperación de calor de los gases de escape de la generación. La figura 2.12 da cuenta de la generación promedio diaria de cada mes en la central Tres Puentes (se hace la distinción entre días hábiles y fines de semana, es decir, promedio de generación de todos los días hábiles del mes y promedio de generación de todos los días sábados y domingo del mes).



**Figura 2.12: Evolución de la generación eléctrica diaria promedio para cada mes en sistema Punta Arenas, año 2011.**

(Fuente: Elaboración propia en base a “Generación Mensual de Energía”, Edelmag S.A. CNE 2012)

Si se considera la generación eléctrica promedio de los fines de semana del mes de enero de la figura 2.12 (peor caso de generación eléctrica), equivalente a aproximadamente 480 [MWh] eléctricos diarios, se puede estimar una disponibilidad de aproximadamente 960 [MWh] térmicos diarios (asumiendo un 30% de eficiencia en generación eléctrica y un 5% de calor irrecuperable por concepto de radiación, roce, rendimiento de máquinas, etc. según se observa en la figura 2.13). Si se observa el mes de junio, de mayor generación eléctrica (y de mayor consumo térmico residencial por condiciones climáticas), se puede estimar un potencial de calor recuperable de aprox. 1.250 [MWh] térmicos diarios.



**Figura 2.13: Balance de energía de una turbina a gas promedio.**

(Fuente: Gamma Ingenieros, 2004)

### 2.3. Conflicto del gas, enero de 2011

Un antecedente importante que da cuenta de la importancia del gas natural en la vida diaria de los habitantes de la XII región es el conflicto generado en enero del 2011 luego del anuncio de alza de tarifas de Enap a Gasco Magallanes en un 16,8% a partir del 1 de febrero de 2011. Lo anterior contrastaba con los anuncios oficiales, de Noviembre de 2010, en relación a hacer aún más favorables los precios del gas en la región.

A raíz del anuncio, la Asamblea Ciudadana de la XII región respondió con paros regionales indefinidos, en particular, el bloqueo del aeropuerto, puertos y accesos a centros turísticos. Lo anterior condujo a las autoridades a invocar la Ley de Seguridad del Estado.

Las causantes del conflicto (puntos negros del listado siguiente), así como los hechos que posiblemente las motivan por parte de los responsables (según notas de prensa de la época, diversas fuentes, listados como puntos blancos), se enumeran a continuación:

- Demanda creciente de gas y reservas decrecientes en la región.
- Directorio de ENAP autoriza el alza de un 16,8% a Gasco Magallanes, distribuidor del combustible en Punta Arenas, P. Natales y Porvenir. El alza consiste en el aumento de tarifa base de 2,5 a 3 dólares por MBTU<sup>3</sup>, y un alza a las tarifas preferenciales de 1,2 a 1,7 dólares por MBTU. Por otro lado, se reduce el consumo tope residencial de 25.000 a 1.000 [m<sup>3</sup>] mensuales.
  - Entrega señales adecuadas de tendencia de precios a los habitantes de la región.
  - Mejora conservación y uso del recurso.
  - Ausencia de exploraciones entre los años 1993 y 2006.
  - Incentiva futuras exploraciones y explotaciones. Incentiva la creación de CEOP (Contratos Especiales de Operación Petrolera, para la exploración, explotación y beneficio de yacimientos de hidrocarburos.). Efecto de demanda insatisfecha atrae explotación.

<sup>3</sup> Mega British Thermal Unit. 1[kWh] = 3.410 [BTU].

- Mejora focalización del subsidio.
- Discordancia de precios en Magallanes y promedio del resto del país. Reajustes menores al resto del país.
- No atención a contratos establecidos entre Enap y la empresa manufacturera de metanol Methanex.
  - Enap provee aproximadamente un 25% del gas natural comprometido en contratos a largo plazo (firmados en 1995, 1997 y 2001).
  - Enap estaría cerca de ser incapaz de satisfacer el mínimo de materia prima para la operación de la última planta de Methanex en funcionamiento (de cuatro plantas originales).
  - Deuda de Enap por US\$4.000 millones.

Los efectos del conflicto se enlistan a continuación:

- Durante el conflicto:
  - Paro total regional y bloqueo de aeropuerto, puertos y sectores turísticos. Dos víctimas fatales en manifestaciones.
  - Cambio de gabinete. Cese en el cargo de Ricardo Rainieri y nombramiento de Laurence Golborne como ministro de energía.
  - Solicitud de investigación a Enap en la Fiscalía Nacional Económica, por parte de legisladores de la región, para que TLC resuelva.
- Posterior al conflicto:
  - Compromiso de claridad y certezas en tarifas.
  - Precio base se ajustará en 3% (equivalente al IPC del año 2010).
  - Las familias con subsidio aumentan de 3.000 a 18.000. Subsidio anual aumenta de \$105.000 a \$108.000. Se mantiene criterio de selección para nuevos beneficiarios. Hoy hay 11.000 subsidios.
  - El 1 de marzo se crea Mesa técnica Consultiva de Trabajo (Gobierno y comunidad Magallánica).
  - Subsidio permanente que congela tarifa hasta el año 2016, sólo reajustada por IPC. Volumen de consumo residencial se mantiene en los 25.000 [m<sup>3</sup>/mes].

Frente a contingencias se garantiza el consumo residencial de gas natural.

## 2.4. Calefacción Distrital

En este apartado se describe el sistema de calefacción distrital, así como las distintas tecnologías o alternativas existentes para su implementación. Se introduce el apartado con una descripción de los métodos actuales de calefacción utilizados actualmente en la región.

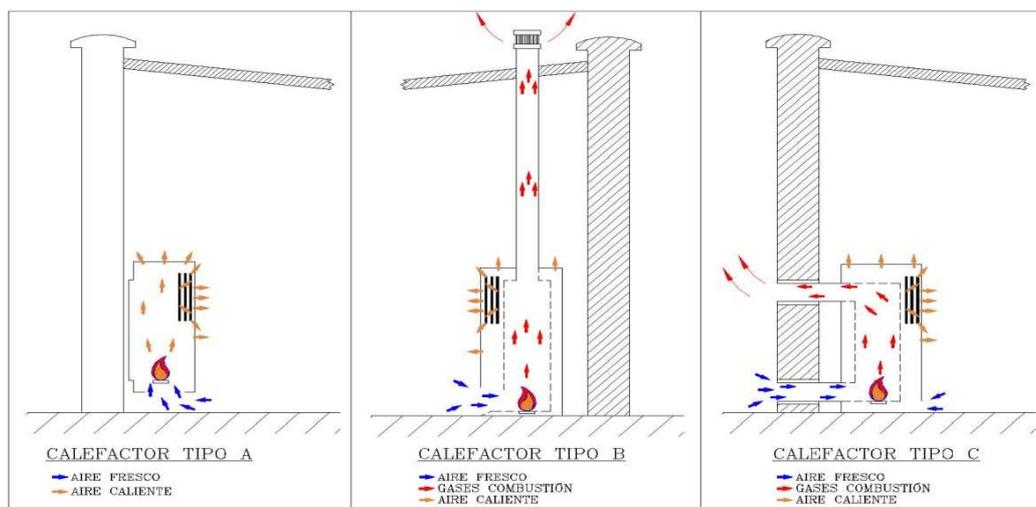
### 2.4.1. Equipos de calefacción actualmente utilizados en la región

Dadas las condiciones de disponibilidad, comodidad, limpieza y costo en la actualidad los sistemas de calefacción más usados en Magallanes corresponden a calefactores de Gas Natural. En situaciones muy excepcionales se detecta uso de leña o electricidad para fines de calefacción.

A continuación se detallan los tipos de calefactores a gas natural o métodos utilizados en la región. (Gamma, 2012).

- **Calefactor tipo A.** Son los calefactores que captan el aire a calentar en el mismo ambiente en que son expulsados los gases de combustión. Puesto que su operación debe ser acompañada de ventilación son escasamente utilizados en Punta Arenas y Puerto Natales, en donde no superan una penetración del 8% del total de calefactores. En contraste, son los más usados en la zona central del país.
- **Calefactor tipo B.** Consiste en los calefactores que captan el comburente (aire) al interior del recinto a la calefacción, para luego expulsar los gases de escape al exterior mediante una tubería. Por lo general la tubería es una chimenea metálica. Este tipo de calefactores predomina en los dos quintiles inferiores, con una presencia del 80% de las casas, siendo el 62% de los calefactores existentes.
- **Calefactor tipo C.** Los calefactores de tipo C son aquellos que captan el aire de combustión desde el exterior del espacio calefaccionado, y que además descargan los gases de combustión hacia el exterior por un muro lateral. Son por lo tanto, en relación a las condiciones ambientales del recinto calefaccionado, los más saludables. Presentan el inconveniente de ofrecer poca resistencia al apagado de la llama frente a vientos intensos, motivo que determina su menor uso en la región (4% de penetración). Por normativa son los únicos calefactores permitidos en baños y dormitorios.
- **Cocina Magallánica.** La cocina magallánica corresponde a un aparato a gas natural que puede cumplir de manera simultánea las labores de cocina y calefactor. Corresponde a la evolución de la tradicional cocina a leña de hierro fundido, pero que en este caso se le ha incorporado 1 ó 2 quemadores de gas. Puesto que estos aparatos captan el aire de combustión al interior del recinto y que expulsan los gases al exterior, pueden ser considerados como un calefactor tipo B. El uso de estos aparatos se encuentra enraizado en las costumbres de los sectores más vulnerables de la ciudad, quienes ven en el aparato su centro de reunión familiar. Se encuentra en el 46% de las casas de los dos quintiles más bajos, teniendo una penetración del 25%.
- **Cocina convencional.** En los sectores más vulnerables se detecta el uso de cocinas tradicionales como calefactor. Lo anterior se lleva a cabo mediante el encendido de los 4 platos del aparato y/o el horno del mismo. La costumbre se deriva del uso tradicional de la cocina magallánica. Se utiliza la cocina tanto como calefactor adicional al titular del hogar o como calefactor único. Dada su forma de operación, el uso de cocinas tradicionales como calefactor puede ser considerado como un calefactor de tipo A, por lo que es poco recomendable por salud y eficiencia.
- **Calefacción central.** Corresponde a sistemas de calefacción para recintos grandes en donde se genera agua o aire caliente en una caldera a gas natural. El fluido transportador de calor es transmitido a los distintos ambientes a calefaccionar mediante una red. El calor es entregado mediante radiadores. Este sistema es propio de sectores acomodados o edificios públicos.

Los calefactores A, B y C pueden ser vistos de manera esquemática en la siguiente figura.



**Figura 2.14: Tipos de calefactores según normativa chilena.**

(Fuente: Gamma, 2012)

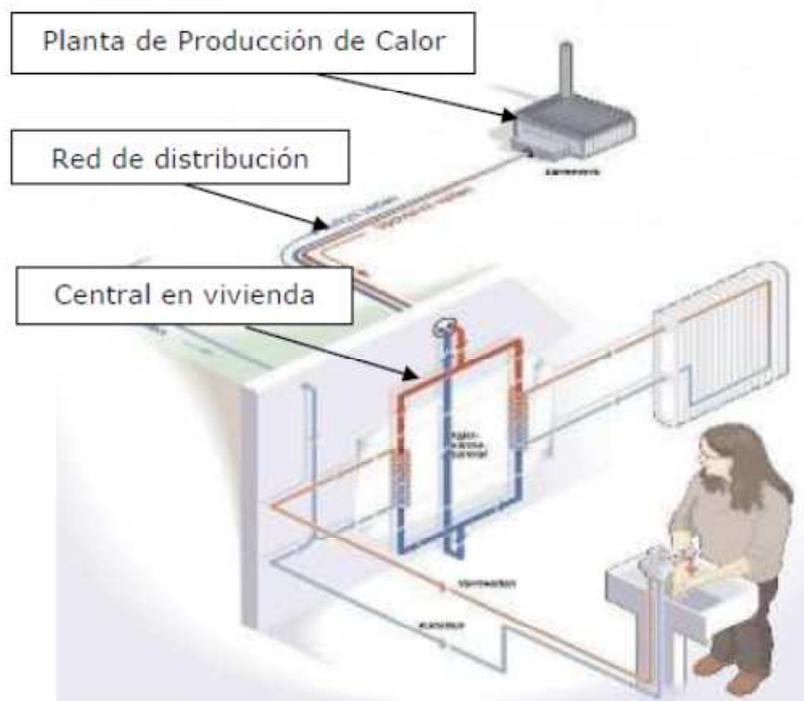
Todos los métodos de calefacción pueden contar con sistemas de regulación de potencia y control a distancia. En general en los sectores vulnerables no se cuenta con esa alternativa, más bien propia de calefactores más costosos y modernos.

El uso de kerosene para calefacción domiciliaria es inexistente, por lo que no existen calefactores de ese tipo. Similarmente ocurre con calefactores a leña y electricidad, en donde el costo de la energía para esas opciones las hace poco competitivas con el gas natural al momento de calefaccionar, por lo que son relegadas a un uso marginal

## 2.4.2. Descripción de Sistema de Calefacción Distrital

La calefacción distrital se puede comprender como un sistema de calefacción central para grandes extensiones geográficas, por ejemplo, ciudades o distritos, hecho que le entrega el nombre a la tecnología.

A grandes rasgos es un sistema comprendido por tres grandes componentes: una central generadora de calor, una red de distribución de calor a los consumidores-suscriptores y las instalaciones domésticas o central de vivienda que éstos cuenten para el aprovechamiento del calor en forma de calefacción o de agua caliente sanitaria (ACS). Todo lo anterior, mediante un circuito cerrado para el fluido calo-portador, según se puede observar en la figura 2.15.



**Figura 2.15: Esquema de sistema de calefacción distrital.**

(Fuente: Technical Research Institute of Sweden)

Como se observa en la figura 2.15, es en la planta de producción de calor en donde se calienta el fluido portador de calor, generalmente agua, ya sea en estado de vapor saturado o agua caliente.

El fluido caliente es transportado hacia los consumidores mediante una red de cañerías. La red es un circuito cerrado, por lo que está compuesta de una línea de suministro (fluido caliente) y de retorno (fluido frío). Tanto las líneas de suministro como de retorno están aisladas, a fin de conservar la temperatura del fluido provisto y por recalentar, respectivamente. El fluido llega caliente a los puntos de consumo (central de vivienda) en donde se le extrae su calor, ya sea mediante intercambiadores de calor (para generación de agua caliente sanitaria), radiadores o loza radiante (para calefacción) o uso directo del vapor (característico en procesos industriales). Una vez frío, el fluido es devuelto a la planta generadora de calor para repetir el ciclo. Se puede dar el caso en que el agua fría no sea retornada a la central generadora de calor (reduciéndose la inversión de la instalación y los costos operacionales por transporte de fluidos), con un consecuente riesgo ambiental (por ejemplo, al descargarse el fluido caliente en ríos) y aumento de costos (aumento en el tratamiento de agua y necesidad de calentar el agua desde la temperatura de red o pozo, según el caso).

### 2.4.3. Motivaciones para la implementación de Calefacción Distrital

La calefacción distrital presenta diversas ventajas que motivan su estudio e implementación. Se enlistan a continuación.

- El tamaño y tecnología de las centrales generadoras de calor permite el uso eficiente de los combustibles.
- Se minimizan las emisiones de contaminantes dado el mejor control, mejor calidad de equipos y mejores políticas de mantenimiento.
- Al centralizarse el consumo de combustibles se alcanzan economías de escala en su adquisición. Se eliminan costos de distribución de combustibles a consumidores finales. El volumen de compra puede permitir el acceso a combustibles no disponibles en pequeña escala.
- Es más cómodo para los usuarios, quienes no manipulan, almacenan ni transportan combustibles a sus domicilios.
- Operación domiciliaria es más segura. Se elimina peligro de incendio con motivos de fallas en sistema de calefacción.
- Se reduce riesgo de intoxicaciones al interior de las viviendas.
- Requiere menores espacios. Se eliminan salas de calderas en edificios con calefacción central. En caso de uso de loza radiante se elimina por completo el espacio de los calefactores al interior de las viviendas.
- La contaminación domiciliaria propia de los sistemas de calefacción a combustión tradicionales es externalizada y atomizada en un único emisor de contaminantes.
- Al haber un único controlador del sistema se facilitan negociaciones por bonos de contaminantes.
- Se evita la generación de vapor de agua al interior de la vivienda producto de la combustión.
- Al no generarse emisiones al interior de los recintos calefaccionados se reduce la necesidad de ventilación. La calefacción es por lo tanto mejor aprovechada.
- Permite canalizar una gran fuente de energía en un aprovechamiento en donde sería imposible el acceso unitario de cada usuario. Por ejemplo, el uso de un pozo geotérmico o el aprovechamiento de residuos térmicos de una operación industrial.

Lo antes mencionado ha llevado a que la calefacción distrital sea una tecnología ampliamente adaptada en países desarrollados. Se puede mencionar a Islandia, Alemania, Dinamarca y Japón. El caso de Islandia es particularmente interesante, puesto que para el año 2009 el 86% de la calefacción domiciliaria se debía a esta tecnología (Peirano, 2009).

A pesar de las bondades antes mencionadas, se debe considerar las desventajas existentes:

- El tamaño de las centrales puede producir que la implementación de éstas amerite un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o al menos una Declaración de Impacto Ambiental (DIA).
- Difícil adaptación a distritos o edificios ya construidos. Implementación de redes y centrales de hogar costosas e invasivas.
- Para que la implementación sea económicamente viable se debe lograr unanimidad y/o gran porcentaje de aceptación de la tecnología en el distrito.
- Sistema facilita comportamientos monopólicos de parte de operadores.
- En lugares en que la calefacción resulta fundamental se puede requerir equipos de respaldo en viviendas frente a situaciones de fallo del suministro.

#### 2.4.4. Tecnologías y Alternativas de implementación

La calefacción distrital puede ser implementada en una gran variedad de combinaciones de tecnología o métodos de implementación. Lo anterior responde a implementaciones óptimas del servicio de acuerdo a la situación del lugar geográfico en que se desea implementar.

##### Central generadora de calor

Los distintos tipos de centrales generadoras de calor para un sistema de calefacción distrital pueden diferir entre sí ya sea por la fuente de calor utilizada o el contexto de la implementación (generación exclusiva de calor o cogeneración, es decir, generación simultánea de electricidad y calor).

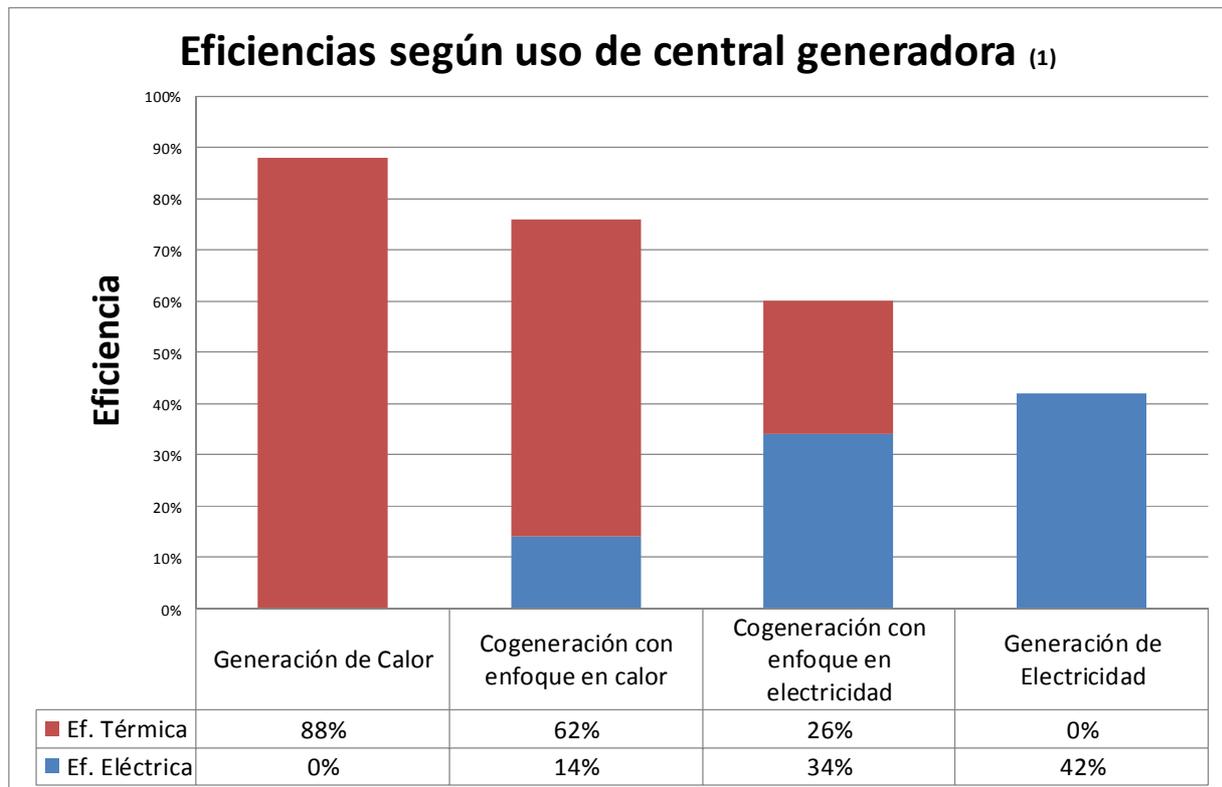
En primer lugar, la central generadora de calor se puede clasificar según el contexto o fin con que se implementa:

- Planta para la producción exclusiva de calor
- Planta de cogeneración
  - Planta de cogeneración con enfoque en calor
  - Planta de cogeneración con enfoque en electricidad
- Planta de trigeneración.

La planta de producción exclusiva de calor es dimensionada, diseñada e implementada pensando en satisfacer de manera exclusiva las demandas térmicas del distrito o industria en que se encuentra. Lo anterior ya sea mediante agua caliente, vapor o gases calientes.

Las plantas de cogeneración pueden ser diseñadas con enfoque en calor o electricidad. En el primer caso, se busca satisfacer la demanda de calor de la industria o distrito por sobre la generación de energía eléctrica (que es de autoconsumo o inyectada a la red). En el segundo caso, se desea maximizar la generación eléctrica pero considerando el aprovechamiento de calores remanentes en aplicaciones industriales. Se puede tener también el caso de una planta adaptable a la situación de demanda.

Conocido lo anterior, es interesante conocer los rendimientos típicos de estas implementaciones, según se ve en la figura 2.16.



**Figura 2.16: Eficiencias según el tipo de uso de central generadora.**

(Fuente: Elaboración propia, en base a Ragossnig, Seeger Engineering AG, 2010)

(1) Basado en el ejemplo de una planta de gran escala con turbina a vapor

En el caso de la figura 2.16 la versatilidad de la planta térmica permite que ésta adapte su operación de acuerdo a la demanda térmica y al precio spot de la electricidad. Se observa que en el caso de generación exclusiva de calor la eficiencia global es de un 88%, en contraste, se logra un 42% de eficiencia en caso de generación exclusiva de electricidad. Se observa que el rendimiento global es decreciente al aumentar la presencia de la generación eléctrica.

La cogeneración en que la generación eléctrica se encuentra en el primer escalón del proceso, siendo la generación térmica secundaria, se denomina cogeneración superior o de cabeza. La situación contraria, es decir, generación térmica en primer escalón y generación eléctrica en el segundo escalón lleva por nombre cogeneración inferior o de cola.

Es interesante notar que si bien una planta de generación eléctrica puede no haber sido concebida para la cogeneración, se puede adaptar a la tecnología. Lo anterior es válido para centrales térmicas con turbinas y motores a gas en ciclo abierto, ciclos combinados y centrales con ciclos Rankine simple.

En el caso de la trigeneración se aprovecha la fuente de calor para generar de manera simultánea electricidad, calor y refrigeración mediante sistemas de absorción. También se puede aumentar la cantidad de calor generado mediante la recuperación del calor del refrigerante en estado gaseoso en el caso de un ciclo de refrigeración tradicional. Este tipo de implementaciones es muy interesante para industrias que requieren de manera

simultánea calor, frío y electricidad, por ejemplo, el caso de faenadoras de animales, plantas de refinación de cobre por electro obtención, etc.

Luego, según la fuente de calor empleada, se pueden tener los siguientes tipos de centrales generadoras de calor:

- Central por combustión de energéticos
  - Combustibles Renovables
    - Biomasa
      - Leña
      - Pellets
      - Astillas, cortezas y aserrín
      - Residuos forestales, rastrojos y residuos agroindustriales
    - Biogás
  - Combustibles Fósiles
    - Petróleo
    - Carbón
    - Gas Natural
- Central Geotérmica
  - Vapor
  - Agua caliente
  - Rocas calientes
  - Masa terrestre y bombas de calor
- Central solar
- Central nuclear
- Central de aerotermia (bombas de calor)

## Red de distribución

La red de distribución cumple la labor de ser el soporte para el transporte de calor del sistema a través del fluido.

Consiste básicamente en un circuito cerrado de dos cañerías, suministro y retorno. La cañería de suministro comprende el tramo “central generadora de calor – consumidor”. La cañería de retorno comprende el trecho desde el consumidor a la central generadora de calor. En el caso de la cañería de suministro se transporta fluido de alta energía hasta el consumidor en donde se extrae la energía térmica del fluido. La existencia de la cañería de retorno tiene dos fines: el aprovechamiento de la entalpía remanente en el fluido para repetir el ciclo (el fluido de retorno por lo general tiene mayor entalpía que fluido de reposición de la central generadora de calor) y la minimización de tratamiento de fluido (el cual debe contar con condiciones que eviten la acumulación de incrustaciones en la red y los equipos). De paso, se reduce el riesgo ecológico por descarga de fluidos a altas temperaturas en ríos o al mar.

Claramente, tanto las líneas de suministro como de retorno deben estar aisladas térmicamente y protegidas frente a las condiciones climáticas propias de su operación.

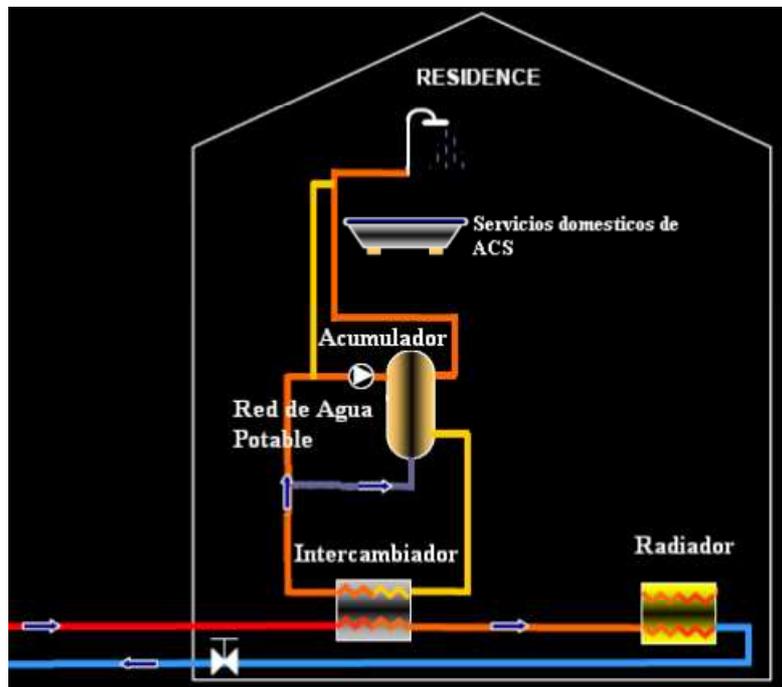
A nivel de instalación, se puede optar por sistemas de cañerías subterráneas o aéreas. En el primer caso los mayores costos de instalación explican el mejor acabado estético y comodidad a nivel urbano de la instalación. En el caso de los sistemas aéreos éstos resultan más económicos de instalar y mantener, pero conllevan deterioro del paisaje, así como también dificultades de tránsito en las zonas donde se instalan.

Las redes además requieren bombas para la impulsión del fluido, sistemas de monitoreo frente a fugas, trampas de vapor, etc.

## Central de vivienda

La central de vivienda es el componente del sistema en donde los usuarios recuperan el calor que se les provee a través del fluido.

En la figura 2.17 es posible observar de manera esquemática un caso de central de vivienda y la forma en que es utilizado el calor.



**Figura 2.17: Esquema de instalación de central de vivienda.**

(Fuente: Peirano, 2009)

Como se observa en la figura 2.17, el fluido portador de calor ingresa a la vivienda caliente. A través de un intercambiador de calor y un radiador se le extrae el calor para luego ser retornado frío a la central. El radiador provee de calefacción al hogar. El intercambiador de calor permite el calentamiento del agua red del hogar para la generación de agua caliente sanitaria. Como se observa es posible la incorporación de un acumulador de agua caliente a fin de contar con ACS en todo momento mediante uso intermitente del servicio.

## Fluido transportador de calor

Una parte fundamental del sistema de calefacción distrital es el fluido encargado del transporte del calor en la red.

Tanto por costos, disponibilidad, propiedades y neutralidad con los usuarios y el medio ambiente, el fluido por excelencia en los sistemas de calefacción distrital es el agua. Según el tipo de sistema en que se opere, el agua puede utilizarse en fase líquida (agua caliente) o gaseosa (vapor saturado). Si bien en la actualidad la tendencia en muchas instalaciones es la transformación del sistema de vapor saturado a un sistema de agua caliente, existen argumentos a favor y en contra para cada una de las alternativas.

También la literatura da cuenta de la posibilidad de utilizarse aire caliente como fluido de red. Esta opción, sin embargo, para instalaciones como la propuesta requiere equipos de dimensiones mayores a las viables a nivel industrial y domiciliario (Filipponi, 1965).

Es importante señalar que independiente de la fase en que se encuentre el agua en la red de calefacción distrital, ésta debe contar con condiciones de agua de caldera (agua blanda) a fin de evitar incrustaciones en redes y equipos y así mantener buenos coeficientes de intercambio de calor. Luego, la central generadora de calor debe contar con una planta de tratamiento a fin de proveer al sistema con agua fresca de reposición en condiciones óptimas.

## Características de barrios y Viviendas

En relación a las características del lugar en donde se implementa la calefacción distrital, se deben considerar las siguientes características deseables:

- Características de viviendas
  - Con estándar de aislación de envolvente (deseable, construida de 2007 en adelante).
  - Interés de propietarios (dueños de casas o constructoras)
- Características de barrios
  - Con espacio en el barrio (o en lugar relativamente cercano) para construcción de central. Sujeto a plano regulador.
  - Espacio para implementación de la red.
  - Alta densidad habitacional (muchas viviendas en poca área)
  - Alta accesibilidad para la recepción y carga de combustibles.
  - Tamaño adecuado a la implementación (número de habitantes mínimo que hagan rentable el proyecto).
  - Deseable bajo nivel de pavimentación (abarata costos de intervención).
  - Viviendas uniformes.
  - Desarrollo en la organización vecinal.

Las características anteriores serán consideradas al momento de decidirse el alcance de la implementación.

## 2.5. Marco Conceptual

En particular, dentro del marco teórico de interés para el desarrollo de la memoria, se mencionan:

- Estudios varios de implementación de calefacción distrital (en Temuco y Padre las Casas, Coñaripe, Santiago).
- Literatura técnica para proyectos de calefacción distrital y las grandes áreas comprendidas (*piping* y procesos de instalación de redes, selección de equipos, etc.)
- Estudios de demanda de calefacción domiciliaria. Comportamiento del consumo de gas natural.
- Literatura enfocada al análisis, evaluación y generación de modelos de negocios.

A raíz del primer punto, es posible el levantamiento de la implementación, así como también del análisis de los factores de mayor influencia en el desarrollo del estudio. Se puede conocer a partir de aquí las principales dificultades, métodos de resolución y/o mejora al abordarse aspectos no cubiertos en estudios anteriores. Dada la antigüedad de la tecnología, toda información técnica, tanto de equipos como de sistemas de implementación, está disponible.

En particular, y en relación a la disponibilidad de información, se encuentra la memoria de Jaime Peirano (para optar al título de ingeniero civil mecánico, U. de Chile, año 2009) en que se hace un análisis detallado de la implementación de calefacción distrital para la ciudad de Coñaripe. A diferencia del trabajo aquí propuesto, J. Peirano estudia el uso de energía geotérmica para la generación de calor. Propone también el uso de bombas de calor como alternativa de posible implementación. Ese estudio abarca desde el punto de vista central un catastro detallado de equipos necesarios, levantamiento de costos, formas de implementación, además de evaluar el proyecto en diversos escenarios, eligiendo de esas evaluaciones las de mejores rentabilidades.

Este estudio será de particular importancia para el apoyo en materia de análisis y dimensionamiento de equipos.

Para el diseño y análisis del sistema de recuperación de calor de la generación eléctrica se utilizará como referencia el trabajo de Alejandro Filipponi (tesis para optar al título de ingeniero civil industrial, U. de Chile, 1965) y estudios de implementación de cogeneración industrial, realizados por Gamma Ingenieros S.A. En relación a este punto y considerando la opción de recuperación de calores de generación, será necesario contar con los catálogos de las turbinas y motores de las centrales, así como planos detallados de las instalaciones.

El análisis de la situación en materia de calefacción en la ciudad de Punta Arenas se determinará utilizando la información y metodología del estudio de reemplazo de calefactores en la región de Magallanes. Resulta también interesante la metodología de estimación de demanda de calefacción domiciliaria utilizada por J. Peirano, por lo que no se descarta su uso.

El análisis económico se sustenta, en primer lugar, en diversas metodologías de análisis del entorno del negocio. En tal caso se encuentra de manera detallada los procedimientos

mediante herramientas de análisis PEST y Porter. Conocido el entorno es posible abordar la confección de un modelo de negocios a partir de la estructura Canvas.

## 2.6. Metodología

Puesto que los alcances del estudio serán a nivel de ingeniería conceptual, la metodología será acorde al nivel de detalles propuesto.

Para el análisis de distintas alternativas de tecnologías de calefacción distrital se usará las herramientas de análisis propias de la organización industrial como 5 Fuerzas de Porter y análisis PEST a fin de poder descartar tecnologías que no sea viables o poco factibles dado el contexto de Punta Arenas.

Por su importancia, a continuación se describe el análisis PEST.

Análisis PEST es un estudio preliminar sobre los factores de entorno global que afectan a las empresas de una industria específica. Permite comprender el crecimiento, el potencial y la dirección de la industria. Considera cuatro principales dimensiones:

- Aspectos Políticos: se encarga de analizar los principales aspectos legales, políticos y reguladores del mercado. Se encarga de estudiar las leyes que afectan la industria, las políticas de gobierno, entidades regulatorias, entre otros aspectos similares.
- Aspectos Económicos: se enfoca en el entorno económico en el que se encuentra la industria. Desarrolla temas tales como el ciclo económico de la industria, evolución de los precios y distribución de los recursos dentro del mercado.
- Aspectos Socio-culturales: considera las creencias y forma de vida de la sociedad que rodea a la empresa. Considera puntos tales como el nivel educativo, evolución demográfica, patrones culturales, tendencias en el consumidor y cambios en el estilo de vida de las personas.
- Aspectos Tecnológicos: análisis que busca el estudio de las tecnologías que son utilizadas dentro de la industria. Considera el desarrollo de nuevos productos, la madurez de las tecnologías convencionales y la preocupación del gobierno y de la industria por la tecnología.

Estas herramientas de análisis externo al servicio público proyectado permiten seguir de manera estructurada el análisis de los factores que pueden repercutir en el éxito o fracaso de alguna implementación. Se podrá a su vez determinar su potencial de utilidad, adaptabilidad al contexto y beneficios principales de manera oportuna.

A partir de lo anterior se podrá proyectar los comportamientos que tome el incumbente bajo los escenarios estudiados, principalmente dados los riesgos que tiene cualquier implementación alejada del *establishment* actual.

Analizado el escenario o entorno del negocio, se procede a la descripción del modelo de negocios mediante el modelo Canvas. El modelo Canvas, de manera ordenada, describe mediante nueve bloques (Segmentos de mercado, proposiciones de valor, canales, relaciones con los clientes, fuentes de ingreso, recursos claves, actividades claves,

sociedades claves y estructura de costos) la forma en que se quiere generar ingresos mediante la entrega de valor empresa/cliente. La evaluación de los modelos de negocio se desarrolla mediante la confección de flujo de caja y un posterior análisis de sensibilidad de las variables relevantes. La selección de modelo de negocios se realiza mediante análisis de factores de flujo de caja (VAN, TIR). Seleccionado el modelo de negocio, se entregan recomendaciones de modelo de gobierno a fin de regularlo.

Para el área técnica se analizará la demanda de calefacción de la ciudad de Punta Arenas de acuerdo a diversas metodologías que permiten converger a un resultado aproximado a la realidad.

En primer lugar se analizará la información estadística relevante al caso. Destaca la información del censo, información provista por organismos públicos (SEREMI, SEC, Ministerio de Energía, Dirección Meteorológica de Chile, etc.) y levantamientos realizados tanto por privados como agentes públicos para el desarrollo de estudios afines a la temática de la calefacción.

Una vez que se cuente con información relevante sobre el perfil de consumo de calefacción en la zona, así como también de las condiciones constructivas y térmicas características de las viviendas de la zona será posible determinar demandas térmicas extrapolables a sectores urbanos completos.

La forma de obtener el perfil de demanda es mediante análisis clásico de transferencia de calor y masa. Lo anterior establece a nivel de hogares el cálculo de pérdidas de calor en sus diversos mecanismos (conducción, convección y ventilación principalmente) y ganancias térmicas (equipos consumidores de energía, ocupantes promedio del inmueble, radiación solar, etc.). Estos resultados resultan igualmente extrapolables a sectores de viviendas que cuenten con características similares.

Para el análisis de calor disponible producto de la generación eléctrica en la zona se seguirán los procedimientos utilizados en diversos estudios de implementación de cogeneración industrial desarrollados por la empresa Gamma Ingenieros S.A. El punto de partida del análisis será la información de la generación provista por la SEC durante el año 2010. Dicha información permite conocer la cantidad de energía generada, en [MWh], durante todos los días del año 2011 y a nivel de cada unidad de generación instalada en la zona.

Será también de interés observar la metodología propuesta por Alejandro Filipponi en 1965 para la determinación de potenciales térmicos a raíz de generación eléctrica mediante motores Diesel en bases antárticas. Con lo anterior es posible abordar de manera estructurada los dos aspectos fundamentales del análisis de esta opción de implementación: estimación de potencial térmico disponible junto con su perfil de disponibilidad y la manera en que este potencial es adaptado a los requerimientos térmicos de los consumidores.

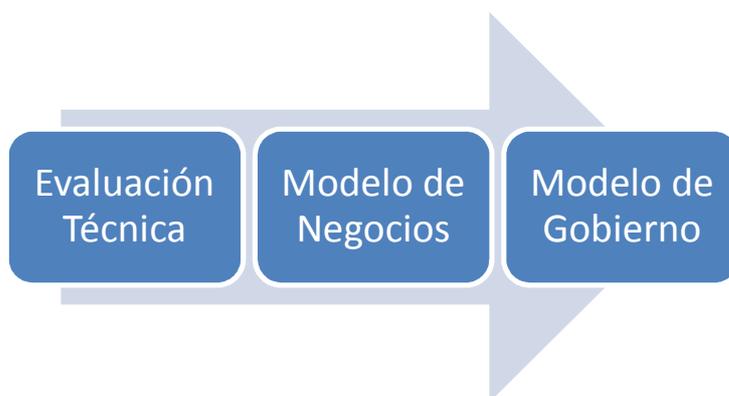
El levantamiento de equipos y requerimientos de éstos será de acuerdo al procedimiento clásico de diseño de sistemas mecánicos. Se añade a lo anterior el estudio de POCH Ambiental S.A. del año 2010 y el trabajo de J. Peirano del año 2009.

El análisis económico se desarrollará mediante la evaluación de proyectos siguiendo el procedimiento habitual de construcción de flujo de caja.

Se considera el análisis de sensibilidad de los flujos mediante la variación independiente de las variables.

A nivel de la componente pública del trabajo de título se considera el análisis de implementación y operación de sistemas similares en países a la vanguardia de la tecnología, tanto por penetración como por nivel de implementación.

De manera esquemática la metodología busca cumplir los siguientes hitos del trabajo (figura siguiente)



**Figura 2.18: Hitos del trabajo de título.**

## 2.7. Alcances

Si bien el tema de memoria es extrapolable a una gran variedad de ciudades del país, la memoria se enfoca en abordar la situación particular de la ciudad de Punta Arenas, mediante el estudio de implementación en sectores de dicha ciudad.

Puesto que la implementación óptima en envergadura, disposición física y rango de acción de una implementación de calefacción distrital es de por sí suficiente para la confección de un trabajo de título, se realizará el estudio de una implementación no necesariamente óptima.

Para el análisis de la recuperación de calor de generación en Punta Arenas se considera un enfoque principal en el aprovechamiento de calor de la operación de la central Tres Puentes (por capacidad instalada y concentración de ésta).

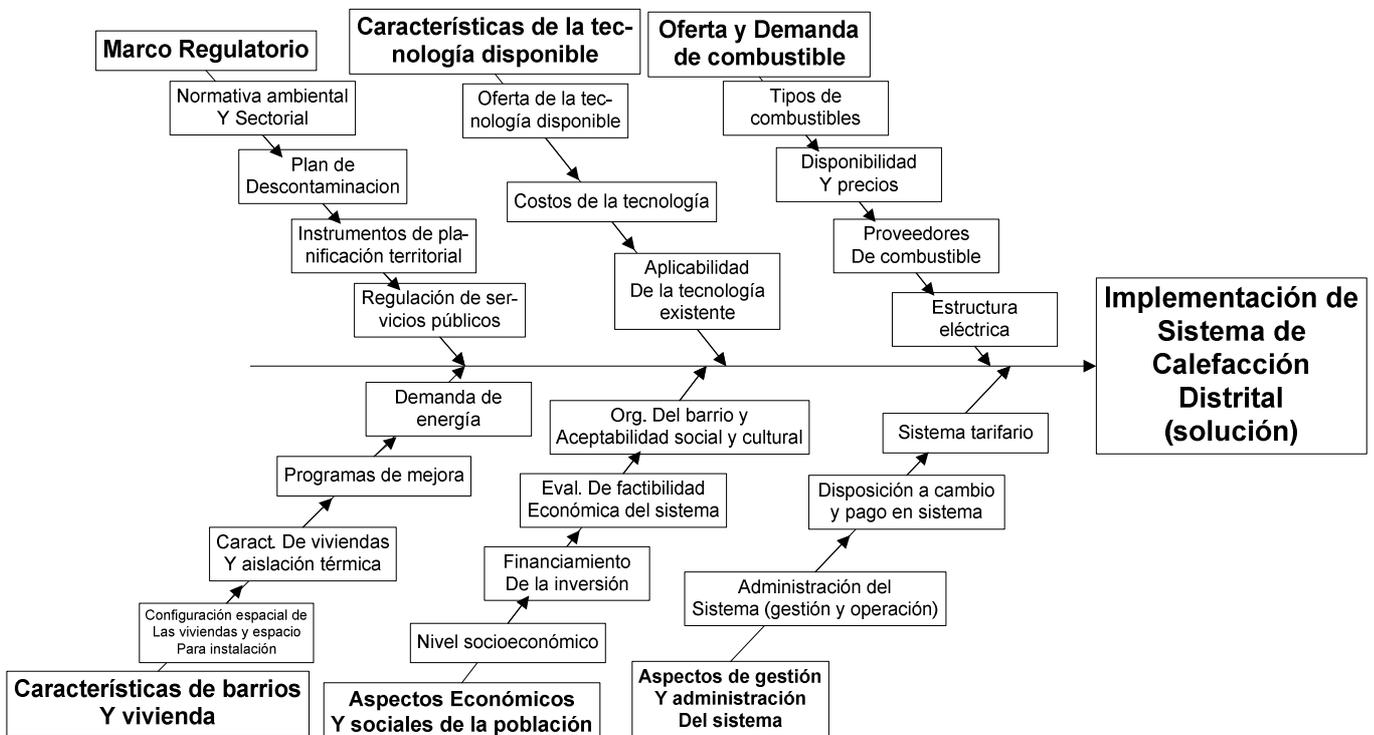
La profundidad del estudio técnico será a nivel de ingeniería conceptual. Lo anterior implica la determinación de las principales variables, tanto en costos de implementación, amplitud de ésta, equipos comprometidos, costos de operación, etc. De manera similar será para el caso del modelo de negocios y modelo de gobierno del proyecto.

## 3. Proyecto técnico: Implementación de calefacción distrital en Punta Arenas.

### 3.1. Análisis y Consideraciones Preliminares

La implementación de un sistema de calefacción distrital tiene diversas componentes puesto que impacta a diversos agentes de la sociedad.

El siguiente diagrama Ishikawa, tomado del estudio “Evaluación de alternativas de calefacción distrital para Temuco y Padre las casas” (POCH, 2011) y sólo en detalles modificado y adaptado por el autor a la realidad de Punta Arenas, entrega un orden de interés para el análisis cualitativo del proyecto.



**Figura 3.1: Diagrama Ishikawa de factores influyentes en el proyecto.**

(Fuente: POCH, 2011. Modificado por el autor)

El diagrama de la figura 3.1 muestra los ramales (o espinas de pescado) que tienen determinación en la implementación del sistema.

El análisis de estos ramales ayuda a responder a grandes rasgos las siguientes preguntas:

- Marco regulatorio: ¿hasta qué se puede hacer para implementar?
- Características de barrios y vivienda: ¿dónde implementar?
- Características de la tecnología disponible: ¿cómo implementar?

- Aspectos económicos y sociales de la población: ¿con quiénes implementar?
- Oferta y demanda de combustible: ¿mediante qué implementar?
- Aspectos de gestión y administración del sistema: ¿quiénes van a controlar y gestionar?

En esta etapa del trabajo, la evaluación técnico-económica, deben ser analizadas las componentes,

- Oferta y demanda de combustible.
- Características de la tecnología disponible.

por lo que se abordan en los subcapítulos siguientes.

### 3.1.1. Oferta y demanda de combustible

#### Combustibles y Fuentes de Energía

Si bien el análisis se ha centrado en el gas natural dada su importancia en la región, a priori no es posible descartar ningún tipo de combustible utilizable en calefacción distrital sin haberse analizado en profundidad sus pros y contras dada la situación particular de Punta Arenas.

El siguiente cuadro resume el análisis de los distintos tipos de combustibles y fuentes de energía realizado por POCH (2011) complementado por el autor para la situación de Punta Arenas. (Gases de Efecto Invernadero, GEI).

**Tabla 3.1: Análisis cualitativo de combustibles o fuentes de energía.**

<b>Combustible o Fuente de Energía</b>	<b>Argumentos a favor</b>	<b>Argumentos en contra</b>
Gas Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible fósil de baja emisión de GEI</li> <li>• No genera residuos</li> <li>• Combustible gaseoso, mejor rendimiento de combustión.</li> <li>• Disponible en la región.</li> <li>• Red de distribución en toda la ciudad. No requiere almacenamiento.</li> <li>• Barato.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No renovable.</li> <li>• Dependiente del exterior (caso del resto del país)</li> <li>• Distribuidor único en Punta Arenas.</li> <li>• Precio creciente.</li> <li>• Reservas decrecientes.</li> </ul>

<b>Combustible o Fuente de Energía</b>	<b>Argumentos a favor</b>	<b>Argumentos en contra</b>
Petróleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible y producible en la región.</li> <li>• No genera residuos.</li> <li>• Distribución desarrollada</li> <li>• Logística. Buena relación [kWh/m<sup>3</sup>]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible Fósil emisor de GEI.</li> <li>• Precio creciente.</li> <li>• Reservas decrecientes.</li> </ul>
Carbón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible en la región.</li> <li>• Económico.</li> <li>• Seguro y de fácil transporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No renovable.</li> <li>• Genera residuos de combustión.</li> <li>• Emisor de GEI.</li> <li>• Requiere avanzada tecnología para usarse en ciudades.</li> <li>• Bajo rendimiento en uso de recurso.</li> <li>• Impacto visual de centrales.</li> <li>• Requiere almacenamiento.</li> </ul>
Leña y Astillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recurso renovable.</li> <li>• Emisor neutro de GEI.</li> <li>• Abundante en país y de bajo costo.</li> <li>• Requiere poco procesamiento.</li> <li>• Flexibilidad en instalación de equipos.</li> <li>• Inversión inicial mediana.</li> <li>• Fortalece economías locales.</li> <li>• Impulsa independencia energética del país.</li> <li>• Precio estable en el tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industria no desarrollada en la zona.</li> <li>• Combustible requiere cuidados de almacenamiento (humedad)</li> <li>• Menor rendimiento que combustibles fósiles.</li> <li>• Canales de distribución poco desarrollados. Interregionales inexistentes.</li> <li>• Aumenta presión forestal.</li> <li>• Genera residuos de combustión.</li> </ul>

<b>Combustible o Fuente de Energía</b>	<b>Argumentos a favor</b>	<b>Argumentos en contra</b>
Pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente renovable.</li> <li>• Emisión neutra de GEI</li> <li>• Flexibilidad en el uso de calderas.</li> <li>• Obtenible en base a desechos, evita presión forestal.</li> <li>• Alto rendimiento de combustión.</li> <li>• Mejor relación kWh/m<sup>3</sup> que leña.</li> <li>• Logística.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Único productor nacional. Monopolio.</li> <li>• Canales de distribución poco desarrollados.</li> <li>• Mayores costos dada su elaboración.</li> <li>• Genera residuos de combustión.</li> </ul>
Residuos Agroindustriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente renovable.</li> <li>• Emisión neutra de GEI.</li> <li>• Bajos costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja disponibilidad en la región.</li> <li>• Heterogeneidad de biomasa (corontas, carozos, etc.) dificultan tecnología.</li> </ul>
Geotermia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de energía renovable.</li> <li>• Bajos costos de operación.</li> <li>• Bajas emisiones de GEI.</li> <li>• Tecnología desarrollada en el extranjero.</li> <li>• Temperaturas pueden propiciar cogeneración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible lejos de lugar de consumo.</li> <li>• Costosa de transportar.</li> <li>• Inversión inicial alta.</li> <li>• Incerteza en disponibilidad en la región.</li> <li>• Desarrollo en mediano a largo plazo.</li> <li>• Tecnología novel en el país.</li> <li>• Malos olores frente a posibles emanaciones de ácido sulfúrico.</li> <li>• Posible impacto en ecosistema por sondajes.</li> </ul>

(Fuente: Elaboración propia en base a POCH 2010)

A continuación se detalla costos de calefacción domiciliar mediante diversas tecnologías y combustibles. Si bien lo anterior no corresponde a la escala industrial de generación de calor, permite tener nociones de los costos percibidos por los usuarios al momento de realizar el análisis.

De la tabla se observa que el combustible más eficiente en relación al costo vs. calor es el gas natural. Lo anterior se explica por el nivel de tarifas existente en Magallanes.

**Tabla 3.2: Costos de calefacción para diversos combustibles y métodos.**

Método de Calefacción	Precio fuente de la energía 2011 [\$] (1)	Energía Bruta [kWh]	Calor Aprovechado (5)	Costo de Calor [\$/kWh]
Leña 20% Humedad (Kg) en estufa poco eficiente (2)	147	4,28	60%	57,24
Leña 50% Humedad (Kg) en estufa poco eficiente(2)	147	2,42	60%	101,24
Leña 20% Humedad (Kg) en estufa eficiente (2)	147	4,28	80%	42,93
Leña 50% Humedad (Kg) en estufa eficiente (2)	147	2,42	80%	75,93
Leña 20% Humedad (Kg) en chimenea Tradicional (2)	147	4,28	15%	228,97
Leña 20% Humedad (Kg) en Salamandra Tradicional (2)	147	4,28	35%	98,13
Pellets de Aserrín (Kg) en estufa Bosca Spirit (2)	157	4,5	85%	41,05
Gas Licuado (Kg) sin descarga de gases al exterior	680	12,87	100%	52,86
Gas Licuado (Kg) con evacuación de gases eficiente	680	12,87	80%	66,07
Gas Licuado (Kg) con evacuación de gases poco eficiente	680	12,87	60%	88,10
Gas Catalítico (Kg) sin descarga de gases al exterior	705	12,87	100%	54,77
Gas Natural (m3) calefactor por debajo de norma (3)	67	10,81	75%	8,29
Gas Natural (m3) calefactor por sobre la norma (3)	67	10,81	82%	7,58
Etanol (Litro) sin descarga de gases al exterior	924	5,49	100%	168,22
Kerosene (Litro) sin descarga de gases al exterior (4)	509	9,58	100%	53,13
Kerosene (Litro) con evacuación de gases eficiente (4)	509	9,58	80%	66,41
Kerosene (Litro) con evacuación de gases poco eficiente (4)	509	9,58	60%	88,55
Estufa eléctrica (KWH)	71	1	100%	71,00
Bomba de Calor (KWH)	71	1	300%	23,67

(Fuente: Eduardo Jahnke, 2009. [www.territorioverde.cl](http://www.territorioverde.cl). Aumentado y corregido por el autor según las notas.)

- (1) Precios en base a Jahnke, 2009. Actualizados por IPC a Noviembre de 2011 en base a año 2009, correspondiente a 0,6%.
- (2) Precios consideran costo de transporte en base a Ragossnig, 2010.
- (3) Precio domiciliario bonificado para Magallanes.
- (4) Según informe de precios de Enap, marzo de 2012.
- (5) Eficiencia de calefactor eficiente según el mínimo exigido por la NCh 2293 Of 2009. Exigencia de calefactor poco eficiente según promedio observado de usuarios en Magallanes, Gamma 2012.

También para el análisis cualitativo de las distintas fuentes de energía posibles de abordar es necesario analizar los lineamientos establecidos por el gobierno en materia de políticas energéticas en el documento “Estrategia nacional de Energía, 2012-2030”. El documento, desarrollado en conjunto por diversos ministerios (Energía, Medio Ambiente, MINVU), establece el criterio de desarrollo futuro de la matriz energética en el país. En materia de energéticos, la siguiente gráfica resume los criterios para el desarrollo de la matriz.



**Figura 3.2: Lineamientos para el desarrollo de la matriz energética.**

(Fuente: Elaboración propia en base a “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030”)

De la figura 3.2 se observa que las acciones a seguir por los organismos públicos en el desarrollo y crecimiento de la matriz energética nacional están orientados al impulso de las energías limpias (reducción de huella de carbono, menores emisiones de GEI), de fuentes renovables (convencionales y no convencionales), con fuentes presentes en el país (disminuir dependencia nacional, abaratar costos) y económicamente eficientes (desarrollo de economía local, minimizar precios).

Para alinear la decisión de implementación de calefacción distrital en Punta Arenas con las políticas públicas del gobierno, la siguiente tabla ordena el análisis para la selección de fuentes de energía (amparado en características observadas en tablas 3.1 y 3.2. A la presencia del energético en el país se agrega al análisis su presencia en la región, puesto que hay yacimientos de hidrocarburos en Magallanes).

**Tabla 3.3: Análisis cualitativo de energéticos.**

Energético	¿Energía Limpia?	¿Energía Renovable?	¿Presente en el país?, ¿presente en la región?	¿Energía económicamente eficiente? (1)
Gas Natural	Si (2)	No	No, Si	Si
Petróleo	No	No	No, Si	No
Carbón	No	No	Si, Si	No
Biomasa	No(3)	Si	Si, No	No
Geotermia	Si	Si	Si, No	No

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Se considera al energético económicamente eficiente al de menor valor.
- (2) Combustible fósil de menor emisión de GEI.
- (3) Emisor de CO<sub>2</sub>, transporte implica emisión de GEI.

A partir de la tabla 3.4 se descarta el uso del carbón, la biomasa y la geotermia. El combustible de mejores características corresponde al gas natural, por lo que se desarrollará el proyecto considerando su uso.

### **3.1.2. Características de la Tecnología Disponible**

Puesto que la tecnología de calefacción distrital existe y está implementada desde hace décadas en el extranjero, la disponibilidad de equipos, componentes y conocimientos están disponibles.

Lo anterior se aplica tanto para las centrales de generación, como para plantas de cogeneración y de recuperación de calores residuales de generación eléctrica.

Dado que es importante resolver la disyuntiva del tipo de fluido transportador de calor a utilizar en etapas preliminares, se detalla la selección a continuación. En capítulos posteriores se abordará en detalles las demás características de la tecnología.

#### **Selección de Fluido Transportador de Calor**

El fluido transportador de calor puede ser tanto aire caliente, agua caliente o vapor saturado. El tipo de fluido seleccionado determina completamente el enfoque y desarrollo del diseño del sistema, hecho que repercute en la necesidad de seleccionarlo en etapas preliminares.

Dado lo engorroso, poco eficiente y costoso de su operación como fluido calo-portador el aire caliente es descartado para el proyecto.

En la siguiente tabla es posible observar ventajas y desventajas de cada alternativa de agua como fluido de forma comparativa.

**Tabla 3.4: Comparativa agua caliente vs. vapor saturado como fluido en calefacción distrital.**

<b>Fluido</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Agua Caliente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación y operación más económica.</li> <li>• Generación económica.</li> <li>• Generación eléctrica más eficiente en cogeneración.</li> <li>• Central de vivienda más pequeña. Menos espacio.</li> <li>• Mayor inercia del sistema frente a cortes.</li> <li>• Redes de gran rango de alcance mediante bombas <i>booster</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No permite satisfacer las necesidades de consumidores de vapor directo (industriales).</li> <li>• Mayores pérdidas de presión por cambios de cota (mayor densidad del fluido).</li> </ul>
<b>Vapor Saturado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para una transferencia similar de calor requiere aproximadamente 10 veces menos masa transportada (portador de calor latente).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere complejos sistemas de recuperación y retorno de condensado.</li> <li>• Mayores pérdidas térmicas producto de las mayores temperaturas de operación.</li> <li>• Conexiones e instalaciones complejas dificultan incorporación de nuevos usuarios.</li> </ul>

(Fuente: Elaboración propia en base a ASHRAE, 2008 y BINE, 2007)

El trabajo de Sleiman et al. (1990) resume la idoneidad de adaptación de sistemas de calefacción en edificios en función del fluido transportador de calor escogido. En dicho trabajo se concluye que los sistemas de agua caliente presentan una alta adaptabilidad a sistemas ya instalados, en contraste del vapor que presenta una adaptabilidad media. Esto es fundamental pensando en los sistemas de calefacción para edificios que ya cuentan con sus sistemas instalados y que pueden ser incorporados a la red de calefacción.

Por utilidad, simplicidad, economía y además por ser la tendencia actual en implementaciones a nivel mundial<sup>4</sup>, se selecciona la opción de utilización de agua caliente.

## **3.2. Determinación del rango geográfico del estudio**

El diseño de una implementación de calefacción urbana es a todas luces un proceso complejo. Lo anterior se debe a que se debe pensar en la implementación con conciencia de los siguientes aspectos, entre muchos otros:

- Situación de equipamiento urbano y características de las viviendas.

<sup>4</sup> Por ejemplo, ciudades como Copenhague en Dinamarca o München en Alemania están transformando sus antiguos sistemas de vapor en sistemas de agua caliente.

- Disposición física y distancias entre sí de componentes.
- Tendencia de dirección de crecimiento urbano.
- Niveles de demanda de calefacción y consumo de combustibles.
- Aspectos económicos o sociales. Organización del distrito.
- Acceso y posibilidad de implementación de diversas tecnologías.

Si se desea diseñar una implementación óptima bajo los puntos señalados anteriormente y que al mismo tiempo presente atributos óptimos en materia de eficiencia energética, economía e impacto en los usuarios, se tiene un problema que se escapa a los alcances del presente trabajo de título.

Se propone, por lo tanto, el desarrollo del estudio para una implementación que no necesariamente resulta ser óptima, pero que sea de interés tanto social, económico como académico.

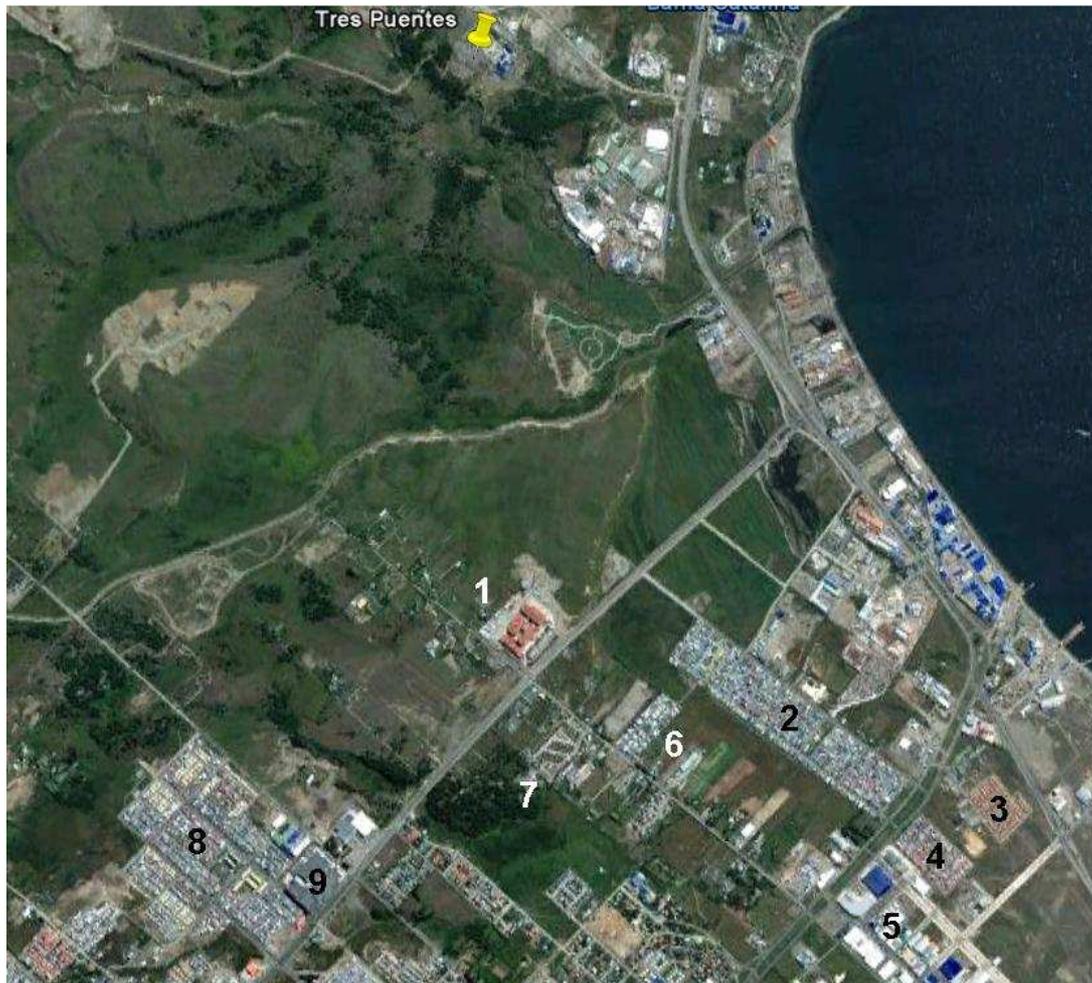
### **3.2.1. Rango geográfico de implementación**

A las características deseables detalladas anteriormente se agregaron los siguientes aspectos al momento de decidir los lugares de la implementación:

- Potencial de crecimiento habitacional en el mismo sector (espacio para nuevas construcciones).
- Sector emplazado en área de crecimiento urbano o cercano al límite de la urbanización.
- Presencia de consumos atomizados pero de alta importancia.
- Barrios habitacionalmente densos, pero que pueden estar distantes entre sí.
- Barrios de vivienda con buenas condiciones de aislación.
- Existencia de barrios bien definidos y consolidados.
- Sector norte-este de la ciudad para cercanía con central eléctrica Tres Puentes.

Los requerimientos anteriores están orientados a lograr una implementación relevante y amortizable en el tiempo (con consumos esperados tales que los plazos de recuperación de la instalación sean adecuados).

Dados los requerimientos anteriores, se estableció como área del alcance la que se observa en la figura 3.3. En la misma figura se observan los barrios y recintos públicos a abordar en el estudio (señalados con números).



**Figura 3.3: Mapa general de sector de implementación.**

(Fuente: Elaboración propia, imagen de *software* Google Earth)

Los lugares señalados en la figura 3.3 corresponden a:

1. Hospital Clínico de Magallanes Dr. Lautaro Navarro A.
2. Villa las Nieves.
3. Población Bahía Catalina.
4. Villa Torres del Paine.
5. Centro comercial Zona Austral de la Zona Franca de Punta Arenas.
6. Villa Los Flamencos.
7. Condominio Altos del Bosque.
8. Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez.
9. Centro comercial Espacio Urbano Pionero.

En la figura 3.3 es posible observar, con un marcador amarillo, la ubicación de la central generadora Tres Puentes de Edelmag S.A.



**Figura 3.4: Vista del condominio Altos del Bosque.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 3.5: Villa Torres del Paine.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 3.6: Hospital regional.**

(Fuente: Elaboración propia)

Los lugares o sectores se detallan en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4: Detalles de sectores a incorporar en el estudio.**

Tipo	Nombre	Unidad Vecinal	Límites (calles al N,O,S,E) o Dirección	Número de Hogares (1)	Comentario
Recinto Público	Hospital Clínico de Magallanes Dr. Lautaro Navarro A.	Barrio Hortícola	Los Flamencos 1364	-	19.000 m2
	Mall Espacio Urbano Pionero	C. Raúl Silva H.	Eduardo Frei Montalva 1110	-	82.000 m2
	Mall Zona Austral de Zona Franca de Punta Arenas	General Bulnes	km. 3,5 Norte	-	11.600 m2
Residencias Particulares	Villa las Nieves	Villa Las Nieves	Av. Llaima, Ernesto Medina Parker , Pdte. M. Bulnes, Los Generales	754	Ex Barrio exclusivo personal de F.F.A.A.
	Población Bahía Catalina	General Bulnes	Juan Madariaga, Bahía Catalina, Los Martires, Sgto. Marcos Madariaga	91	Dependencias de la Fach
	Villa Torres del Paine	General Bulnes	Pje. Lago Sarmiento, Río Bagueles, Pje. Lago Ferrier, Laguna Azul	224	
	Villa Los Flamencos	Barrio Hortícola	Senador Exequiel González Madariaga, Avda. Los Flamencos, Gobernador Cosme Crema Maisto, Deportista Juan Skirving Hardy	90	
	Condominio Altos del Bosque	Barrio Hortícola	Pje. Los Maderos, -, Altos del Bosque, Avda. Los Flamencos	81	Construido en 2009, cumple norma
	Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez.	C. Raúl Silva H.	Juan Carlos Ruíz Mancilla, Hornillas, Pdte. Eduardo Frei Montalba, Enrique Abello	1374	

(Fuente: Elaboración propia)

(1) En base a Censo 2002 e información actualizada de [www.observatoriourbano.cl](http://www.observatoriourbano.cl) (Minvu 2007)

Detalle de las unidades vecinales pueden ser vistos en el Anexo A.

El conjunto de sectores seleccionados cumplen los criterios antes expuestos. Además el sector seleccionado presenta potencial para futuras urbanizaciones, de manera de posibilitar la creación de nuevos barrios con calefacción distrital implementada de construcción (considerando los menores costos y molestias producto de una hipotética intervención a posteriori para casas ya construidas).

En materia de calidad de envoltante de las construcciones, se espera que estén por sobre o ligeramente bajo la norma. Lo anterior puesto que los sectores elegidos pertenecen a niveles socio-económicos medios, medios-altos y altos, ó son de construcción reciente (caso del condominio Altos del Bosque, por ejemplo).

Una imagen de la implementación tentativa de la red, así como los límites de los barrios propuestos, puede ser vista en la siguiente figura. Las líneas amarillas representan la red tentativa, las líneas blancas los límites de los barrios.



**Figura 3.7: Límites de barrios y red tentativa.**

(Fuente: Elaboración propia, imagen de *software* Google Earth)

Vale la pena hacer notar que para la implementación de la red se debe seguir las calles y caminos ya existentes. De esta manera se evitan obstáculos, además de evitarse que zonas no urbanizadas pierdan su potencial de desarrollo por interferencias de la red.

La tabla siguiente muestra el impacto del estudio a nivel residencial por concepto de hogares y habitantes atendidos.

**Tabla 3.5: Cantidad de hogares y población cubierta con el estudio.**

Nombre Sector	Nº de Hogares	Población Total
Villa las Nieves	754	3.526
Villa los Flamencos	90	401
Condominio Altos del Bosque	81	324
Villa Torres del Paine	224	741
Población Bahía Catalina	91	383
Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez	1.374	5.039
<b>Total</b>	<b>2.614</b>	<b>10.414</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)

Así como está definida la implementación afectaría a 2.614 hogares, el centro comercial Zona Austral de la Zona Franca, el Hospital Clínico y el centro comercial Espacio Urbano.

### 3.2.2. Consumidores potenciales incorporables a la red

Si bien los siguientes puntos de consumo de calor (ya sea en forma de calefacción, ACS o calor industrial) no están considerados para el desarrollo del presente estudio, es preciso mencionarlos a fin de dar a conocer el potencial de crecimiento del servicio con hipotéticos clientes importantes que son próximos a la red proyectada. Son los siguientes:

- Agrícola Marín (procesadora de productos cárnicos. Emplazada en sector industrial).
- Regimiento Logístico Nº 5 Magallanes, del Ejército de Chile (emplazado en la salida del sector industrial).
- Pesqueras emplazadas en el borde costero (sector comprendido entre el sector industrial y humedal).
- Supermercados “Sánchez & Sánchez” y “Abu-Gosch” (interior de zona franca).
- Módulos de Zona Franca (anexos al módulo central Zona Austral).
- Sede Punta Arenas del Instituto profesional Inacap (inmediatamente al frente de la zona franca).
- Nuevos condominios o condominios en actual construcción (por av. Frei Montalva, entre av. Los Flamencos y centro comercial Espacio Urbano).
- Tienda Sodimac (al frente de centro comercial Espacio Urbano).

En relación a los supermercados de la Zona Franca es interesante mencionar que cuentan con sistemas de calefacción compatibles con la red de agua caliente (radiadores y sistemas de inyección de aire). Así mismo, todos los módulos de la Zona Franca cuentan con conexión y medidores propios a la red de gas natural.

Los sectores residenciales en construcción son de interés puesto que presentan poca dificultad de adaptación bajos costos de conexión al servicio.

Todos los posibles consumidores son próximos a la red proyectada, por lo que resulta de interés considerar su incorporación en evaluaciones futuras.



**Figura 3.8: Supermercados de la zona franca.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 3.9: Módulos de zona franca.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 3.10: Barrios en construcción, Av. Frei Montalva.**

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.2.3. Locación de central generadora de calor

La ordenanza Plan Regulador Comunal de Punta Arenas (2004) establece, en su descripción de las distintas categorías de procesos industriales, lo siguiente:

*“Actividades Insalubres o Contaminantes.- Aquellas que por su destinación o las operaciones o procesos que en ellos se practican, o por los elementos que se acopian, dan lugar a consecuencias tales como, vertimientos, desprendimientos, emanaciones, trepidaciones, ruidos, etc., que pueden llegar a alterar el equilibrio del medio ambiente, por el uso desmedido de la naturaleza o por la incorporación a la biosfera de sustancias extrañas, que perjudiquen directa o indirectamente la salud humana u ocasionen daños a los recursos agrícolas, forestales, pecuarios, psíquicos u otros.”*

La anterior es la descripción que mejor se ajusta a las características de operación de una planta de generación de calor (o cogeneración) mediante el uso de combustibles fósiles. Lo anterior considerando que la evaluación para el estudio contempla la implementación de una única central generadora de calor (o cogeneración) y no diversas centrales de menor tamaño (que eventualmente podrían instalarse en sectores urbanos). Puesto que la única clasificación de área que permite implementaciones similares es la “H”, la implementación de las centrales queda subordinada a que sea en dichas zonificaciones. La zona H se encuentra en el sector del barrio industrial y Tres Puentes (en donde se encuentra la central generadora eléctrica).

## 3.3. Demanda de calor residencial para el alcance seleccionado

### 3.3.1. Consideraciones y factores para el cálculo

En primer lugar, es necesario detallar qué se entiende por Confort térmico. El confort térmico corresponde a la configuración ambiental en donde un individuo se encuentra en un estado mental de satisfacción por las condiciones de su entorno (ASHRAE). Claramente, las condiciones de confort están determinadas por la actividad y la vestimenta del individuo.

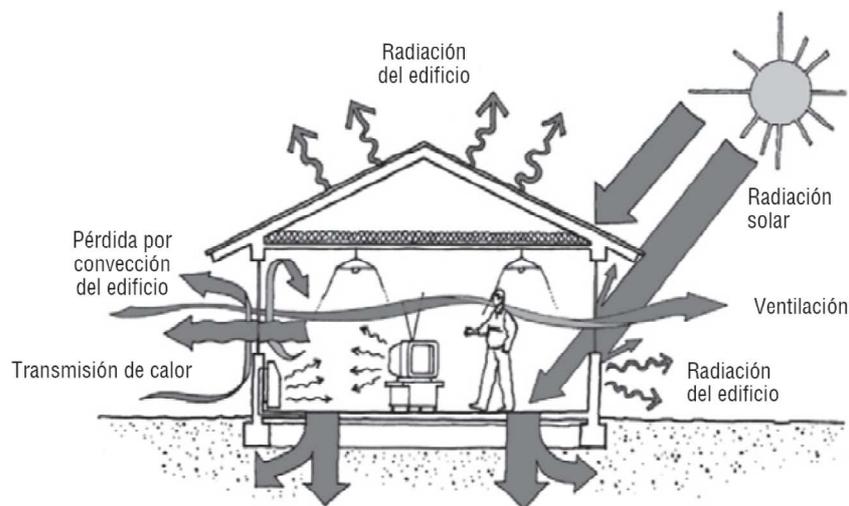
En la medida en que se pueda proveer de calefacción y ACS adecuadas, será posible que los ocupantes de las viviendas alcancen el deseado confort térmico.

La demanda de calefacción y ACS, y por lo tanto la demanda del confort de un recinto, tiene relación con los siguientes factores:

- Climáticos o externos:
  - Temperatura externa de la vivienda y la temperatura de confort establecida.
  - Humedad relativa del ambiente y humedad de confort establecida.
  - Velocidad del viento.

- Incidencia de radiación solar sobre la construcción (latitud, nubosidades, contaminación).
- Temperaturas de suelo.
- De la construcción y operación de la vivienda:
  - Volumen del recinto a calefaccionar.
  - Calidad de la envolvente de la construcción.
  - Agrupación de las construcciones (casa aislada, casa pareada, departamento, etc.)
  - Nivel de presencia de infiltraciones de aire externo.
  - Orientación de la construcción.
  - Número de ocupantes y cantidad de equipos eléctricos, electrónicos y térmicos en operación.

Lo anterior se ilustra en la siguiente figura.



**Figura 3.11: Ganancias y pérdidas de calor en viviendas.**

(Fuente: Bustamante et al. 2009)

El consumo de gas natural, lo que en la XII región es casi equivalente a consumo en calefacción, podría también estar determinado por la cantidad de mujeres, adolescentes y adultos mayores en las viviendas (Foretich, 2011). A pesar de lo anterior, se desprecian esos factores.

### Consideraciones y factores climáticos o externos para el cálculo

Se detalla a continuación las consideraciones y datos utilizados para estimar y modelar el comportamiento climático de la ciudad de Punta Arenas y cómo éstos influyen en el confort establecido.

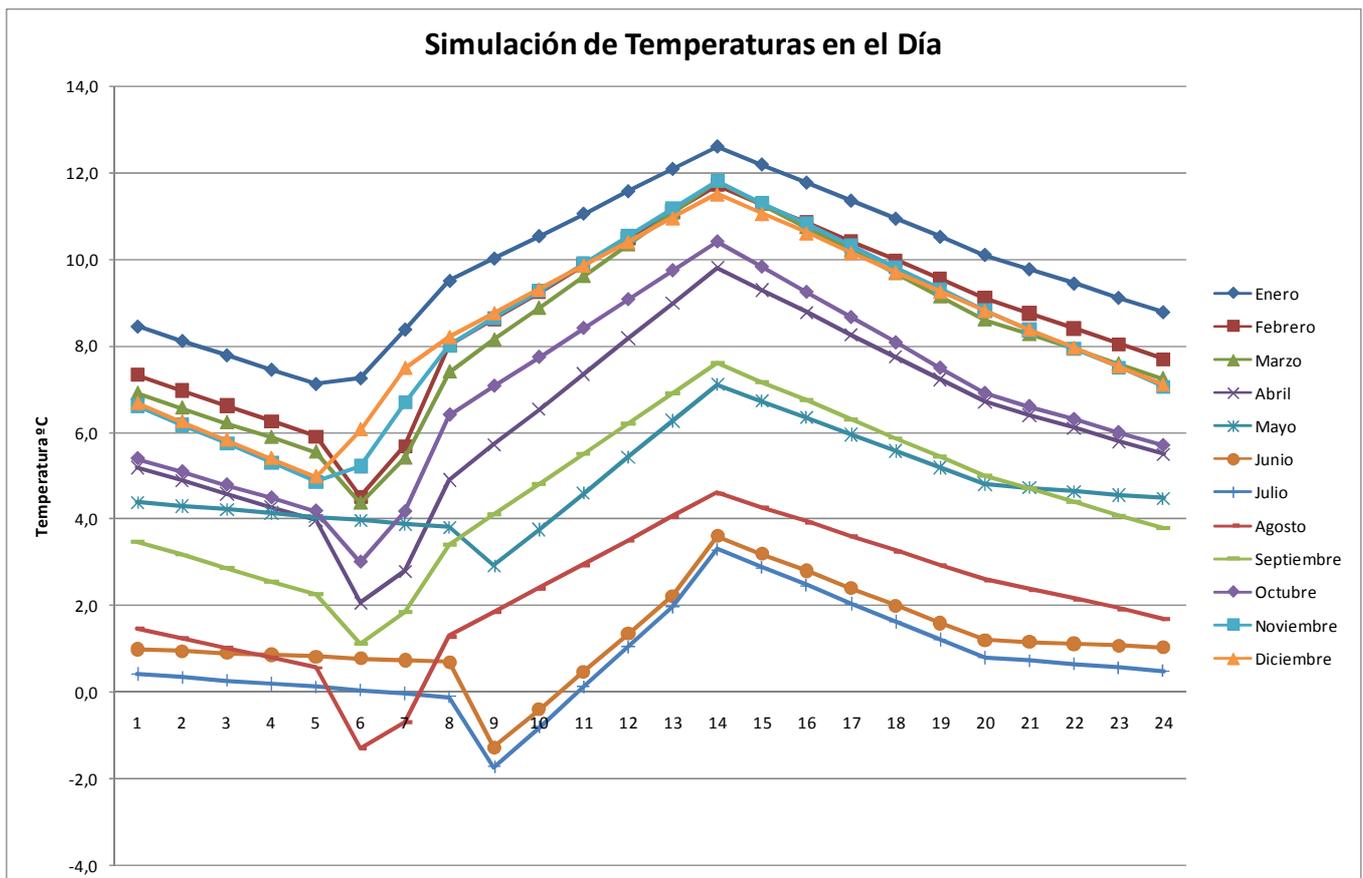
#### Temperatura

La temperatura externa determina el nivel de pérdidas de calor en la vivienda por conducción (gradiente térmico) e infiltraciones (temperatura de aire y vapor de agua contenido que son infiltrados y que se deben calentar para equiparar la temperatura interna).

La estimación de las temperaturas durante el día a lo largo del año para Punta Arenas se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Mediante la información provista por la Dirección Meteorológica de Chile en sus anuarios es posible conocer las temperaturas medias para todos los meses del año. Estos valores se encuentran disponibles para las 8, 14 y 20 hrs. (Anuario 2010).
- Además se entrega la información de la temperatura media mínima para cada mes. Esta temperatura media mínima se asigna a la hora en que se registra la salida del sol en el día 15 de cada mes.
- Las temperaturas asignadas se repiten a lo largo del mes en sus respectivos horarios.
- Se interpolan linealmente las temperaturas para cada hora en los intervalos “salida del sol - 8 hrs.”; “8 hrs. - 14 hrs.”; “14 hrs. - 20 hrs.” y “20 hrs. - 8 hrs. ó salida del sol” (dependiendo de qué ocurra primero para cada mes).
- Se impone que la temperatura a las 24 hrs. sea igual a la hora 0 del día siguiente (por continuidad).

Realizado esto se obtienen las curvas de comportamiento térmico a lo largo del día para todos los meses. Se observan a continuación.



**Figura 3.12: Simulación diaria de temperaturas durante los meses del año para la ciudad de Punta Arenas.**

(Fuente: Elaboración propia.)

También es necesario contar con el comportamiento térmico del suelo a fin de establecer las pérdidas por los pisos de la construcción. A partir de la información histórica recopilada por la NASA y provista por el software RETScreen, se tiene las temperaturas de suelo promedio mensuales en Punta Arenas (tabla 3.6).

**Tabla 3.6: Temperaturas promedio mensuales del suelo en Punta Arenas.**

Mes	Tº de Suelo [°C]
Enero	11,6
Febrero	10,9
Marzo	8,1
Abril	5
Mayo	1,9
Junio	-0,8
Julio	-0,9
Agosto	0,8
Septiembre	3,2
Octubre	6,8
Noviembre	9,9
Diciembre	11,3
<b>Promedio</b>	<b>5,65</b>

(Fuente: NASA a través de *software* RETScreen)

A pesar de la gran variabilidad en las temperaturas observables en la tabla 3.6 se usará para el cálculo del gradiente térmico del suelo el valor correspondiente al promedio anual (5,65° C). Con lo anterior es posible incorporar la inercia térmica del suelo a los cálculos.

Otro factor térmico que influye en la demanda de calor en una vivienda es la temperatura de red del agua sanitaria. A menor temperatura de provisión, mayor energía será necesaria para elevar su temperatura a las condiciones adecuadas.

Dada la variabilidad en la temperatura de suministro durante el año (tabla 3.8 en donde se observa 2°C en agosto vs. 10,2°C en febrero) se utilizará las temperaturas promedio de cada mes.

### Humedad relativa

La humedad relativa influye en la carga térmica de una vivienda. Lo anterior puesto que el aire infiltrado contiene agua. Dado que el calor específico del vapor de agua es superior al del aire seco, se requiere una mayor cantidad de energía para calentarlo en comparación al aire.

Para determinar la cantidad de agua contenida en el aire se sigue el procedimiento detallado a continuación.

La humedad absoluta se obtiene mediante la expresión 3.1.

$$Y \left[ \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} \right] = 0,622 \cdot \frac{PA(T)}{PT-PA(T)} \quad (3.1)$$

En donde:

Y: Humedad absoluta (gramos de agua contenidos en un kg de aire seco).

PA(T): Presión de saturación del agua en función de la temperatura exterior, en [bar].

PT: Presión atmosférica [bar].

El factor 0,622 da cuenta de la relación entre los pesos molares del agua y el aire seco.

La presión de saturación del agua en función de la temperatura, PA(T), se obtiene con la siguiente ecuación

$$PA(T)[bar] = 0,00002 \cdot T^2 + 0,0005 \cdot T + 0,0059 \quad (3.2)$$

Por último la proporción entre masa de agua y de aire se obtiene con la siguiente relación

$$R = \frac{Y \cdot HR}{1000} \quad (12.3)$$

En donde HR es la humedad relativa del ambiente en porcentaje. Para HR se usará el valor promedio mensual. Dicho valor se obtiene del Anuario Meteorológico del 2010 al promediar las humedades relativas promedio mensuales en los horarios de 8, 14 y 20 hrs.

### Viento

La velocidad del viento determina la cantidad de pérdidas por convección en la envolvente de la vivienda y en dónde ocurren principalmente dichas pérdidas (dirección y sentidos predominantes del viento).

Para la velocidad del viento se usará el valor promedio mensual. Dicho valor se obtiene del Anuario Meteorológico del 2010 al promediar las velocidades promedio mensuales en los horarios de 8, 14 y 20 hrs. Esta velocidad tiene una dirección predominante W.

### Radiación solar

La radiación solar a la que se expone una construcción representa una fuente de ganancias térmicas.

Se asume para el cálculo que sólo se tendrán ganancias por las ventanas de la cara norte de las construcciones. Se considera sólo la cara norte puesto que es la orientación de mayor exposición al sol en el hemisferio sur. Por otro lado, son consideradas sólo las ventanas dado que tienen baja reflexividad (la radiación no es reflejada) y una absorptividad adecuada. Los muros, si bien cuentan con absorptividades altas, presentan altas pérdidas por radiación y convección.

Para esta estimación se utilizarán los valores obtenidos mediante el uso de la Planilla Solar (en soporte Excel, desarrollada por R. Román L. para el curso de Conversión térmica de la energía solar del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile). Los valores

entregados por la planilla se basan en el modelo de Perrin de Brichambaut. Dicho modelo hace la distinción en tres tipos de cielo (claro, normal y contaminado) al momento de calcularse las radiaciones incidentes. Para el caso de Punta Arenas se analiza la información del Anuario Meteorológico a fin de poder determinar qué tipo de cielo es el más adecuado para la aplicación del modelo (tabla 3.7).

**Tabla 3.7: Nubosidades medias en Punta Arenas, año 2011.**

Mes	Nubosidad Media [octavos]			Promedio diario del mes [octavos]
	8 hrs.	14 hrs.	20 hrs.	
Enero	5,8	5,8	5,8	5,8
Febrero	5,5	5,6	5,6	5,6
Marzo	5,6	5,8	4,7	5,4
Abril	5,4	5,4	4,7	5,2
Mayo	4,4	5	4,9	4,8
Junio	4,8	5,7	4	4,8
Julio	4,2	4,5	4	4,2
Agosto	5	5,5	4,9	5,1
Septiembre	5,8	5,7	5,4	5,6
Octubre	5,3	5,9	5,3	5,5
Noviembre	5,4	5,7	5,4	5,5
Diciembre	5,1	6,1	5	5,4
<b>Promedio</b>	<b>5,2</b>	<b>5,6</b>	<b>5,0</b>	<b>5,2</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Anuario Meteorológico de Chile, 2011)

De la tabla 3.7 se observa que el cielo presenta, para todos los meses, nubosidades superiores a las 4 octavos (la medición de nubosidad mediante octavos consiste en la división del cielo en 8 partes, y luego contar cuántas de éstas presentan nubosidad<sup>5</sup>). Se debe notar que en el horario de 14 hrs. casi siempre (la excepción es septiembre) se tiene la máxima nubosidad del día, horario coincidente con las mayores radiaciones solares. A partir de lo anterior se concluye que está nublado parcialmente la mayoría del año. Luego, se hacen las consideraciones para un cielo del tipo poluto.

Se considera las radiaciones durante el día 15 de cada mes como las representativas a lo largo de dicho mes.

Con las radiaciones incidentes, mas la ecuación 3.4 es posible estimar las ganancias térmicas por unidad de área de vidrio de la vivienda.

$$Q_{solar} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] = \gamma \cdot Rad \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \quad (3.4)$$

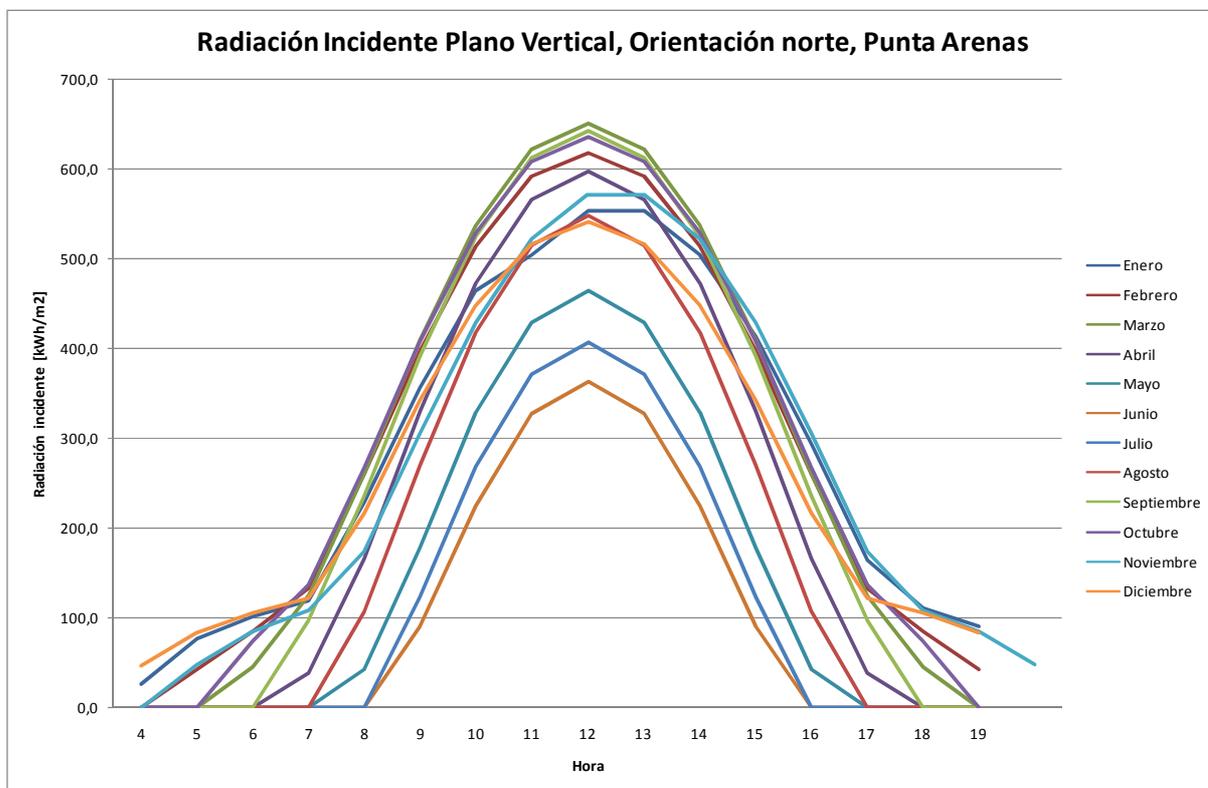
En donde

$\gamma$ : Reflexividad del vidrio. Se asume 0,9 que es un valor típico para vidrios estándar.

Rad: Radiación incidente en el vidrio (de planilla).

<sup>5</sup> McIntosh, D. H. (1972) *Meteorological Glossary*, Her Majesty's Stationery Office, Met. O. 842, A.P. 897, 319 p.

La figura 3.13 da cuenta de los resultados del procedimiento de obtención de radiación incidente en el plano vertical con orientación norte (sin considerar reflexividad del vidrio).



**Figura 3.13: Simulación diaria de radiación incidente en plano vertical con orientación norte en la ciudad de Punta Arenas.**

(Fuente: Elaboración propia)

Si bien la misma vivienda es emisora de radiación hacia el espacio, hecho que produce una pérdida térmica, ésta se desprecia para simplicidad del cálculo.

### Resumen de información climática y atmosférica

La tabla 3.8 da cuenta de los valores a utilizar en el cálculo de las cargas térmicas en viviendas y demanda de calor por concepto de ACS (columna “Temperatura agua red”).

La variable “A” corresponde a la temperatura promedio, en °C, según horario.

La variable “B” corresponde a la relación masa de agua – masa de aire, en [gr agua/kg aire]

La variable “C” corresponde a la radiación incidente en un plano vertical orientado hacia el norte, en [kWh/m<sup>2</sup>].

**Tabla 3.8: Resumen de condiciones ambientales a lo largo del día en Punta Arenas.**

Mes	Variable en función del horario																								Tagua red °C	Vel. viento [m/s]	Pres. atmosf. [bar]	
	Variable	1 hrs.	2 hrs.	3 hrs.	4 hrs.	5 hrs.	6 hrs.	7 hrs.	8 hrs.	9 hrs.	10 hrs.	11 hrs.	12 hrs.	13 hrs.	14 hrs.	15 hrs.	16 hrs.	17 hrs.	18 hrs.	19 hrs.	20 hrs.	21 hrs.	22 hrs.	23 hrs.				24 hrs.
Ene	A	8,4	8,1	7,8	7,5	7,1	7,3	8,4	9,5	10,0	10,5	11,1	11,6	12,1	12,6	12,2	11,8	11,4	10,9	10,5	10,1	9,8	9,4	9,1	8,8	9,6	19,0	0,989
	B	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,42	0,46	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47			
	C	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,06	0,11	0,18	0,23	0,25	0,28	0,28	0,25	0,21	0,15	0,08	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Feb	A	7,3	7,0	6,6	6,3	5,9	4,5	5,7	8,0	8,6	9,2	9,9	10,5	11,1	11,7	11,3	10,8	10,4	10,0	9,5	9,1	8,7	8,4	8,0	7,7	10,2	18,7	0,996
	B	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,36	0,39	0,47	0,49	0,51	0,54	0,56	0,58	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,31	0,30	0,26	0,20	0,13	0,07	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Mar	A	6,9	6,6	6,2	5,9	5,5	4,4	5,4	7,4	8,1	8,9	9,6	10,3	11,1	11,8	11,3	10,7	10,2	9,7	9,1	8,6	8,3	7,9	7,6	7,2	9,8	15,7	0,998
	B	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,37	0,40	0,47	0,50	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,55	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,13	0,20	0,27	0,31	0,32	0,31	0,27	0,20	0,13	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Abr	A	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	2,1	2,8	4,9	5,7	6,5	7,4	8,2	9,0	9,8	9,3	8,8	8,3	7,7	7,2	6,7	6,4	6,1	5,8	5,5	8,6	14,3	0,996
	B	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,33	0,35	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,17	0,24	0,28	0,30	0,28	0,24	0,17	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
May	A	4,4	4,3	4,2	4,1	4,1	4,0	3,9	3,8	2,9	3,8	4,6	5,4	6,3	7,1	6,7	6,3	6,0	5,6	5,2	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	6,5	17,0	0,996
	B	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,16	0,21	0,23	0,21	0,16	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Jun	A	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	-1,3	-0,4	0,5	1,4	2,2	3,6	3,2	2,8	2,4	2,0	1,6	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	4,3	16,3	0,993
	B	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,11	0,16	0,18	0,16	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Jul	A	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,1	-1,7	-0,8	0,1	1,1	2,0	3,3	2,9	2,5	2,1	1,6	1,2	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	2,5	12,7	1,002
	B	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,13	0,19	0,20	0,19	0,13	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Ago	A	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	-1,3	-0,7	1,3	1,9	2,4	3,0	3,5	4,1	4,6	4,3	3,9	3,6	3,3	2,9	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7	2	16,7	0,997
	B	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30	0,25	0,27	0,32	0,33	0,35	0,36	0,38	0,40	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13	0,21	0,26	0,27	0,26	0,21	0,13	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Sep	A	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3	1,1	1,8	3,4	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	7,2	6,7	6,3	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	2,9	17,7	1,000
	B	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,30	0,32	0,36	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,12	0,20	0,26	0,31	0,32	0,31	0,26	0,20	0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Oct	A	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,0	4,2	6,4	7,1	7,7	8,4	9,1	9,7	10,4	9,8	9,2	8,7	8,1	7,5	6,9	6,6	6,3	6,0	5,7	4,5	15,3	0,996
	B	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,30	0,33	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,51	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,32	0,30	0,26	0,20	0,13	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Nov	A	6,6	6,2	5,7	5,3	4,9	5,2	6,7	8,0	8,6	9,3	9,9	10,5	11,2	11,8	11,3	10,8	10,3	9,8	9,3	8,8	8,4	7,9	7,5	7,0	6,4	20,0	0,998
	B	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,33	0,37	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,52	0,54	0,52	0,50	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,38			
	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,09	0,15	0,21	0,26	0,29	0,29	0,26	0,21	0,15	0,09	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00			
Dic	A	6,7	6,3	5,8	5,4	5,0	6,1	7,5	8,2	8,8	9,3	9,9	10,4	11,0	11,5	11,1	10,6	10,2	9,7	9,3	8,8	8,4	8,0	7,5	7,1	8,2	24,0	0,989
	B	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,36	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,53	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39			
	C	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,06	0,11	0,17	0,22	0,26	0,27	0,26	0,22	0,17	0,11	0,06	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00			

(Fuente: Elaboración propia. Temperatura de agua de red en base a CDT)

## Consideraciones constructivas y de operación para el cálculo

### Dimensiones del recinto a calefaccionar

El tamaño del recinto determina el área de su envolvente por donde se transfiere calor, a su vez que la altura y el área determinan el volumen de aire desplazado por las infiltraciones.

### Materialidad de la envolvente de la construcción y convección

Uno de los principales mecanismos de pérdida de calor de una vivienda es la transferencia de calor hacia el exterior mediante medios materiales (paredes y aire de convección). La ecuación 3.5 da cuenta del fenómeno.

$$\dot{Q} [W] = U \cdot A \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (3.5)$$

En donde

U: Coeficiente de transferencia global, en [W/m<sup>2</sup>K].

A: Área de transferencia de calor, en [m<sup>2</sup>].

T: Temperaturas interna y externa respectivamente, en [°K] (ó °C al ser una diferencia).

Se debe notar que el parámetro U comprende el fenómeno de transferencia de calor en las modalidades de convección (al interior y exterior del recinto) y conducción térmica. La ecuación 3.6 da cuenta del parámetro U.

$$U \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{1}{h_{ext}} + \sum_j \frac{e_j}{k_j}} \quad (3.6)$$

En donde

h: Coeficientes convectivos interno y externo, en [W/m<sup>2</sup>K]

e<sub>j</sub>: Espesor de material, en [m].

k<sub>j</sub>: Conductividad del material, en [W/mK].

Los coeficientes de convección se calculan a partir de ecuaciones (3.7 y 3.8 dependiendo si se calcula el coeficiente interno o externo, respectivamente).

$$h_{int} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] = h_c + 5,72e_i \quad (3.7)$$

En donde

e<sub>i</sub>: Emisividad del material. El valor típico para materiales de recubrimiento de viviendas es 0,8.

$h_c$ : Coeficiente de orientación de superficie. Depende, como su nombre lo indica, de la orientación de la superficie en que se produce la convección. Los valores se muestran en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9: Valores de coeficiente de orientación de superficie para convección interna.**

Orientación	$h_c \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$
Vertical hacia arriba	4,04
45° hacia arriba	3,87
Horizontal	3,08
Vertical hacia abajo	0,92

(Fuente: ASHRAE, 2008)

Para la convección en muros se utiliza el valor correspondiente a la orientación “Vertical hacia arriba” mientras que para los techos se utiliza “45° hacia arriba”. El factor “Horizontal” es el utilizado en suelos.

Por otro lado, el coeficiente de convección externo se calcula dependiendo de la velocidad del viento. El criterio de distinción es si la velocidad del viento esta por sobre o bajo los 2[m/s]. Como en la tabla 3.8 es posible observar que la velocidad del viento promedio en Punta Arenas está siempre por sobre los 2[m/s], se detalla la ecuación aplicable para ese caso.

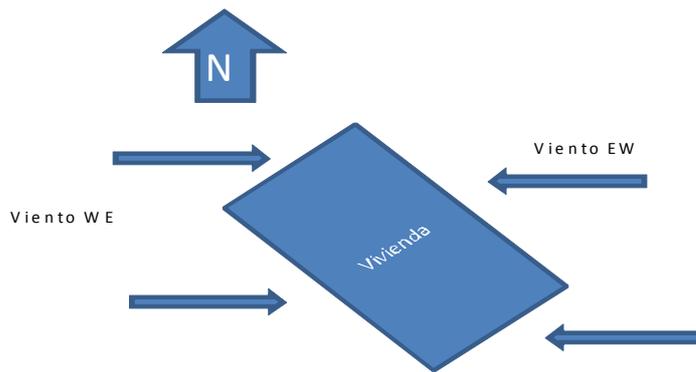
$$h_{ext} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] = 18,6 \cdot 0,25 \cdot v_{viento}^{0,605} \quad (3.8)$$

En donde  $v_{viento}$  corresponde a la velocidad del viento en [m/s].

De la figura 2.3 se debe notar que la dirección predominante del viento en Punta Arenas es la W, además de presentar las mayores velocidades de viento. Por otro lado, los vientos con dirección E son minoritarios con velocidades del orden de los 5 [m/s]. De imágenes satelitales (por ejemplo figura 3.3) es posible observar que la orientación de todas las viviendas consideradas en el estudio es NW. A partir de los antecedentes anteriores se concluye que para el cálculo se asume:

- La mitad de la fachada de las viviendas está expuesta a vientos correspondientes al promedio mensual (tabla 3.8), con dirección EW.
- La mitad restante está expuesta a vientos de velocidades de 4 [m/s] con dirección WE.

La consideración anterior se ve en la figura 3.14. Se desprecia el efecto de descomponer el vector velocidad del viento, por lo que se asume que su incidencia siempre es perpendicular a la fachada de construcción.



**Figura 3.14: Supuestos en la distribución de los vientos incidentes en las viviendas.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### Tipología de viviendas

La materialidad y calidad de una vivienda está determinado por la categoría en que se encasille, luego, determinan el coeficiente de transferencia global (U). Se detallan a continuación las consideraciones para "clusterizar" a las viviendas y sus características.

#### Clusterización de tipologías de viviendas

La figura siguiente muestra, para el sector del estudio, el porcentaje de viviendas en cada cuadra cuyos ocupantes pertenecen al quintil superior de ingresos.



**Figura 3.15: Rango de porcentaje de viviendas por cuadra pertenecientes al quintil superior.**  
(Fuente: Elaboración propia, en base a Minvu 2007, [www.observatoriourbano.cl](http://www.observatoriourbano.cl))

A partir de la figura 3.15 se puede observar que la población de la Villa Las Nieves (VLN) se encuentra en un rango medio-alto, similarmente en el caso de las Villa Torres del Paine

(VTP) pero considerando una tendencia mayor hacia los sectores altos. La Villa los Flamencos (VF) y la Población Bahía Catalina (PBC) pertenecen a sectores en donde el quintil superior es predominante. La Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez (VCRSH) presenta algunos sectores altos, pero predominan los sectores bajos. El condominio Altos del Bosque (AB) no figura en la gráfica dado que fue construido el año 2009. De todas formas, dada su fecha de construcción (posterior a la emisión de la Reglamentación térmica en 2007) y el costo de las viviendas, será considerado como un sector habitado por familias con consumo térmico asimilable al del quintil superior. (Información socio-demográfica de cada barrio y que es de interés para el cálculo de demanda térmica, puede ser vista en detalle en el anexo B).

De la descripción anterior es razonable distribuir categorías de viviendas en los diversos barrios que se estudian. Se considera la clasificación establecida en el trabajo de Bustamante et al. (2009) en donde se hace el estudio térmico de las viviendas reconociendo los siguientes tres grupos (y sus características constructivas generales):

- Vivienda social tipo
  - Albañilería de ladrillo con barrera de humedad.
  - Aislación en techumbre.
  - Vidriado simple.
- Vivienda mejorada
  - Similar a vivienda tipo además con,
  - 50 [mm] de poliestireno expandido.
  - 8 [mm] de fibrocemento.
  - Doble vidriado.
- Vivienda energéticamente eficiente.
  - Similar a vivienda mejorada además de contar con,
  - 25 [mm] de poliestireno extruido bajo radier.
  - Envoltente con 60 [mm] de poliestireno expandido (10 [mm] adicionales).

Es esperable que las condiciones de materialidad de las viviendas estén correlacionadas con el nivel socio-económico de la familia que la habita. Además de lo anterior es un factor determinante el año de construcción de la vivienda. Viviendas anteriores a 2007 no necesariamente cumplen la reglamentación térmica. Por otro lado, las exigencias de aislación en techumbres están solamente vigentes a partir del año 2001.

En base a lo anterior, se distribuyen las tipologías de viviendas en los barrios como sigue:

- Viviendas Tipo:
  - Población Cardenal Raúl Silva Henríquez
- Viviendas Mejoradas:
  - Villa Los Flamencos
  - Villa Las Nieves
  - Villa Torres del Paine
  - Población Bahía Catalina
- Viviendas Energéticamente eficientes:
  - Condominio Altos del Bosque.

En el caso de las viviendas “Tipo” se selecciona el sector de emplazamiento de estas viviendas dada la condición de sus habitantes y su año de construcción. A pesar de que el Gobierno desarrolla diversos planes de mejoramiento de envolventes en sectores vulnerables (incluyendo a la PCRSH), los beneficiarios no se encuentran lo suficientemente atomizados como para generalizar a la totalidad de la población.

Las viviendas mejoradas están en sectores medios y de construcción anterior a 2007. Se caracterizan por materialidades mejores en su construcción.

Las viviendas energéticamente eficientes son posteriores a 2007. Por su costo es esperable que la materialidad de las viviendas permita rendimiento térmico por sobre lo exigido en la normativa.

Dimensiones de viviendas según tipología.

Conocida la distribución de la tipología de casas en los sectores estudiados, es posible estimar sus dimensiones promedio mediante imágenes satelitales.

Se midió las dimensiones de diversas casas por sector a fin de promediar las dimensiones. Los resultados aproximados se muestran en la tabla siguiente (alturas de los recintos se asumen de 2,5[m]).

**Tabla 3.10: Dimensiones promedio de viviendas según tipología.**

Tipo de Vivienda	Largo Promedio [m]	Ancho Promedio [m]	Alto Promedio [m]
Vivienda Tipo	10	7	2,5
Mejorada	13	6,5	2,5
Energéticamente Eficiente	11	8	2,5

(Fuente: Elaboración propia)

A partir de la tabla 3.10 es posible conocer las áreas de muros y piso. Se asume que todas las techumbres tienen una inclinación de 45°C.

Por otro lado, la reglamentación térmica (OGUC 4.1.10.) establece porcentajes máximos de ventanas respecto a los parámetros verticales de la envolvente según zona térmica. La tabla siguiente da cuenta de lo anterior para la zona térmica 7.

**Tabla 3.11: Porcentajes máximos de ventanas en zona térmica 7.**

Zona	Tipo de Vidrio		
	Vidrio Monolítico	Doble Vidriado Hermético	
		U € [3.6 , 2.4] [W/m2K]	U < 2,4 [W/m2K]
7	12%	28%	37%

(Fuente: OGUC 4.1.10)

Se asume que todos los tipos de viviendas tienen ventanas con un área equivalente al máximo permitido para el tipo de ventana que poseen. Del área total de ventanas, la mitad se asume con orientación norte y el resto con orientación sur.

Con las tablas 3.10 y 3.11 es posible conocer las áreas de intercambio térmico para cada vivienda.

**Tabla 3.12: Áreas de intercambio térmico.**

<b>Tipo de Vivienda</b>	<b>Area de Suelo [m2]</b>	<b>Area Ventanas [m2]</b>	<b>Area Muros [m2]</b>	<b>Area Techo [m2]</b>	<b>Volumen Interno [m3]</b>
Vivienda Tipo	70	10,2	74,8	133,6	175
Mejorada	84,5	27,3	70,2	149,4	211,25
Energéticamente Eficiente	88	35,15	59,9	169,7	220

(Fuente: Elaboración propia)

Como se ve en la figura 3.14, la mitad del área de muros sufre de pérdidas térmicas con un U asociado al viento del oeste y la otra mitad al del este. Del mismo modo, la mitad del área total de ventanas sufre de insolación (orientación norte).

#### Especificaciones constructivas

De acuerdo a la descripción de los diversos tipos de viviendas, además de las características comunes de las viviendas de la región se tienen las características constructivas de las viviendas. Se detallan en la tabla 3.13.

**Tabla 3.13: Características constructivas de las viviendas.**

Tipo de Vivienda	Tipo Superficie	Material	Espesor [m]	Conductividad [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Tipo</b>	Muro	Cholguán	0,004	0,1
		Estuco	0,015	0,24
		Ladrillo chonchon	0,13	0,49
		Cinc Alum	0,002	40
	Suelo	Baldosa Cerámica	0,01	0,81
		Cemento	0,1	1,047
	Techo	Lana Mineral	0,09	0,04
		Pino Radiata	0,03	0,25
		Cinc Alum	0,002	40
	Ventana	Vidrio simple	0,003	0,02
<b>Mejorada</b>	Paredes	Cholguan	0,004	0,1
		Estuco	0,015	0,24
		Ladrillo chonchon	0,13	0,49
		Poliestireno	0,05	0,038
		Fibrocemento	0,008	0,24
		Cinc alum	0,002	40
	Suelo	Baldosa Cerámica	0,01	0,81
		Cemento	0,1	1,047
	Techo	Lana Mineral	0,09	0,04
		Pino Radiata	0,03	0,25
		Cinc Alum	0,002	40
	Ventana	Vidrio doble (1)	-	0,5
	<b>Energéticamente Eficiente</b>	Paredes	Cholguan	0,004
Estuco			0,015	0,24
Ladrillo chonchon			0,13	0,49
Poliestireno			0,05	0,038
Fibrocemento			0,008	0,24
Cinc alum			0,002	40
Suelo		Baldosa Cerámica	0,01	0,81
		Poliestireno	0,025	0,038
		Cemento	0,1	1,047
Techo		Lana Mineral	0,09	0,04
		Pino Radiata	0,03	0,25
		Cinc Alum	0,002	40
Ventana		Vidrio doble (2)	-	0,6

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Doble vidriado de mediana categoría según OGUC artículo 4.1.10.  
 (2) Se considera doble vidriado de rango superior según OGUC artículo 4.1.10.

Teniéndose en consideración la tabla 3.13 y la variación en las velocidades del viento del este a lo largo del año (y por lo tanto del coeficiente convectivo externo de superficies orientadas al O), se tienen los siguientes coeficientes de transferencia globales, U.

**Tabla 3.14: Coeficientes de transferencia global, U, para cada mes y superficie en las tres categorías de viviendas.**

Mes	U [W/m <sup>2</sup> K]																	
	Casa tipo						Casa Mejorada						Casa Energéticamente Eficiente					
	Paredes E	Paredes O	Suelo	Techo	Vidrio E	Vidrio O	Paredes E	Paredes O	Suelo	Techo	Vidrio E	Vidrio O	Paredes E	Paredes O	Suelo	Techo	Vidrio E	Vidrio O
1	1,923	1,733	4,193	0,396	3,308	2,785	0,535	0,519	4,193	0,396	1,533	1,410	0,469	0,457	1,116	0,396	1,329	1,236
2	1,921	1,733	4,193	0,396	3,304	2,785	0,535	0,519	4,193	0,396	1,532	1,410	0,469	0,457	1,116	0,396	1,329	1,236
3	1,906	1,733	4,193	0,395	3,260	2,785	0,534	0,519	4,193	0,395	1,523	1,410	0,468	0,457	1,116	0,395	1,322	1,236
4	1,898	1,733	4,193	0,395	3,235	2,785	0,533	0,519	4,193	0,395	1,517	1,410	0,467	0,457	1,116	0,395	1,317	1,236
5	1,913	1,733	4,193	0,396	3,281	2,785	0,534	0,519	4,193	0,396	1,527	1,410	0,468	0,457	1,116	0,396	1,325	1,236
6	1,910	1,733	4,193	0,396	3,270	2,785	0,534	0,519	4,193	0,396	1,525	1,410	0,468	0,457	1,116	0,396	1,323	1,236
7	1,886	1,733	4,193	0,395	3,202	2,785	0,532	0,519	4,193	0,395	1,510	1,410	0,467	0,457	1,116	0,395	1,312	1,236
8	1,912	1,733	4,193	0,396	3,276	2,785	0,534	0,519	4,193	0,396	1,526	1,410	0,468	0,457	1,116	0,396	1,324	1,236
9	1,917	1,733	4,193	0,396	3,291	2,785	0,535	0,519	4,193	0,396	1,529	1,410	0,469	0,457	1,116	0,396	1,326	1,236
10	1,904	1,733	4,193	0,395	3,254	2,785	0,534	0,519	4,193	0,395	1,521	1,410	0,468	0,457	1,116	0,395	1,320	1,236
11	1,927	1,733	4,193	0,396	3,320	2,785	0,535	0,519	4,193	0,396	1,536	1,410	0,469	0,457	1,116	0,396	1,331	1,236
12	1,940	1,733	4,193	0,397	3,361	2,785	0,536	0,519	4,193	0,397	1,544	1,410	0,470	0,457	1,116	0,397	1,338	1,236

(Fuente: Elaboración propia)

Condiciones constructivas actuales vs. reglamentación térmica vigente

Las exigencias mínimas en materia de calidad de aislación de envolvente, exigidas en la 2ª etapa de reglamentación térmica de 2007, pueden ser vistas en la siguiente tabla.

**Tabla 3.15: Exigencias mínimas en zona térmica 7 según reglamentación térmica.**

Zona Térmica	Umínimo exigido [W/m <sup>2</sup> K]		
	Techumbre	Muros	Pisos
7	0,25	0,6	0,32

(Fuente: Reglamentación térmica)

También se debe señalar que la reglamentación térmica no exige doble vidriado hermético (DVH) en ninguna de las zonas térmicas del país.

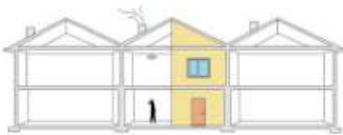
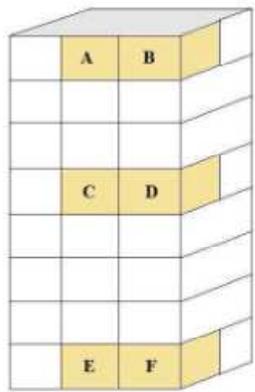
Para poder hacer comparaciones se debe señalar que en ambos casos el coeficiente U es calculado según lo establecido en la Nch 853.

Como se sabe, antes de la puesta en vigencia de la reglamentación térmica no existían regulaciones de ningún tipo en términos de materialidad y aislación de envolvente de las viviendas. Es por eso que las viviendas TIPO se encuentran siempre en condiciones de incumplimiento de la norma (vivienda TIPO del estudio, correspondientes a la Población Cardenal R. Silva H., se construyen en el año 2004). En el caso de los muros, tanto las viviendas mejoradas como las EE cumplen lo exigido.

En el caso del suelo, el mejoramiento térmico de esta parte de la envolvente es de alta complejidad de intervención, por lo que las casas mejoradas no cuentan con este ítem por sobre la norma. En el caso de las viviendas EE se sigue recomendación de materialidad de piso propuesta por Bustamante (2009) teniéndose que tampoco se cumple la norma en ese caso. A pesar de lo anterior, y teniéndose en consideración que las casas EE corresponden a sectores construidos en el año 2009 en adelante, se utiliza el valor propuesto.

### **Agrupación de la construcción**

La disposición de la vivienda consiste en la interacción que tiene una construcción en relación a las construcciones vecinas. La relación puede ser de aislamiento (casa aislada, sin contacto con vecinos), relación de contacto (casas pareadas o de contacto en una cara, ó en fila o de contacto en dos caras de la envolvente) o de departamentos. Lo anterior se observa en la figura 3.16.

Tipo de agrupación de vivienda	Características
<p>Vivienda aislada</p> 	<p>No comparte ninguno de sus lados con otra vivienda Las pérdidas de calor hacia el ambiente, se producen por las caras expuestas al exterior: 4 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Vivienda pareada</p> 	<p>Comparte un lado con otra vivienda (no hay pérdida de calor por el pareo). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 3 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Vivienda en fila</p> 	<p>Comparte dos lados con otra vivienda (en ambos pareos no se pierde calor hacia el exterior). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 2 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Departamento</p> 	<p>Tipo de departamento, de acuerdo al número de fachadas expuestas al exterior, donde se producen las pérdidas de calor hacia el ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A: posee 2 caras expuestas al exterior (techo y un muro).</li> <li>B: posee 3 caras expuestas al exterior (techo y dos muros).</li> <li>C: posee 1 cara expuesta al exterior (un muro).</li> <li>D: posee 2 caras expuestas al exterior (dos muros).</li> <li>E: posee 2 caras expuestas al exterior (piso y un muro).</li> <li>F: posee 3 caras expuestas al exterior (piso y dos muros).</li> </ul>

**Figura 3.16: Tipos de agrupaciones de viviendas.**

(Fuente: Romero, 2011)

De Gamma (2012) es posible conocer que la inmensa mayoría de las construcciones de Punta Arenas corresponden a construcciones de 1 ó 2 pisos. Dado lo anterior se descarta, por simplicidad, hacer consideraciones para departamentos eventualmente inmersos en los sectores de estudio.

El trabajo de Bustamante et al. (2009) analiza las demandas térmicas para distintos tipos de casas (según características de materialidad y aislación) y en distintas condiciones de agrupamiento. A partir de lo anterior se puede obtener el comportamiento de la demanda térmica dentro de una categoría de vivienda dado su agrupamiento. Lo anterior se puede apreciar en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16: Comportamiento de distinto tipo de viviendas de acuerdo a su agrupamiento, en relación a la casa aislada (de mayores pérdidas).**

Agrupamiento de Vivienda	Porcentaje de demanda térmica c/r a vivienda aislada		
	Vivienda Tipo	Vivienda Mejorada	Vivienda Energéticamente Eficiente
Aislada	100%	100%	100%
Pareada	95,6%	96,4%	94,8%
Continúa	92,6%	93,7%	90,1%

(Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Bustamante et al. 2009)

De la tabla anterior, por ejemplo, se puede establecer que en una vivienda “Tipo” en agrupamiento pareado tiene una demanda térmica correspondiente al 95,6% en comparación a la misma vivienda “Tipo” en condiciones de aislamiento.

Luego, los cálculos se realizan considerando viviendas aisladas y luego son corregidos mediante los factores expresados en la tabla 3.16, según sea el caso, a fin de no sobre estimar las demandas térmicas.

Para el cálculo sólo se consideran casas aisladas a las del Condominio Altos del Bosque, coincidente con la totalidad de las viviendas que corresponden a la tipología “Vivienda energéticamente eficiente”.

### Infiltraciones

Si bien las infiltraciones de aire al interior del recinto climatizado resultan indeseables en materia de eficiencia energética, permiten mantener las condiciones del aire interno de mejor manera para el confort y salud de los ocupantes.

Como bien declara la ASHRAE, la única manera de constatar de manera exacta el nivel de infiltraciones al interior de una construcción en particular es mediante la medición *in situ* con instrumentos específicos. Dada la imposibilidad de realizar lo anterior se decide imponer una tasa de renovación del aire interior por unidad de tiempo.

Se realiza el cálculo considerando una tasa de renovación de aire de 1 [renov/h], es decir, cada una hora el aire y su humedad asociada contenidos al interior de una vivienda son expulsados al exterior para ser reemplazados por aire en condiciones externas de temperatura y humedad.

La tasa anterior es la utilizada en los trabajos de Bustamante (2009), Filipponi (1965) y Peirano (2009). Además es el valor base utilizado por el software de cálculo térmico de edificios “CCTE\_CL\_V2”, desarrollado por el Minvu.

En este apartado también resulta interesante mencionar la recomendación que se hace en el trabajo de Bustamante et al. (2009) en donde se sugiere la implementación de ventilación forzada y controlada en los baños y cocinas de las viviendas. De esta manera se puede controlar de manera óptima la ventilación conservando las condiciones ambientales interiores y la eficiencia térmica.

La carga térmica producto de las infiltraciones se determina de acuerdo a la ecuación 3.9.

$$Q_{Vent}[kWh] = \frac{Renov}{3600} \cdot (M_{agua}Cp_{agua} + M_{Aire}Cp_{aire}) \cdot (T_{confort} - T_{ambiente}) \quad (3.9)$$

En donde,

$Q_{Vent}$ : Calor perdido por concepto de infiltraciones de aire.

Renov: Cantidad de renovaciones de aire por hora.

M: Masas de agua y aire contenidas en cada renovación, en [kg].

Cp: Calores específicos del vapor de agua (1,82 [kJ/kgK]) y aire seco (1,012 [kJ/kgK]) respectivamente.

T: Temperaturas de confort y ambiente respectivamente, en [K].

La ecuación 3.9 también se puede expresar como sigue considerando la relación de densidades de los fluidos.

$$Q_{Vent}[kWh] = \frac{Renov}{3600} \cdot V_{vivienda} \left( \rho_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot R + \rho_{Aire}Cp_{aire} \cdot (1 - R) \right) \cdot (T_{confort} - T_{ambiente}) \quad (3.10)$$

En donde R corresponde a la relación de masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco (de ecuación 12.3).

### Ocupantes y equipos en operación

Tanto los ocupantes de la construcción, como los equipos eléctricos, electrónicos o térmicos en operación aportan cargas térmicas al ambiente.

#### Ocupantes

De las tablas demográficas de los barrios seleccionados (anexo B), se concluye que en promedio hay 4 habitantes por vivienda. Se asume que los habitantes se dividen bajo la premisa de dos adultos y dos niños.

La siguiente tabla da cuenta del aporte térmico por concepto de ocupantes, según diversas actividades que estén desempeñando.

**Tabla 3.17: Cargas térmicas asociadas a actividades metabólicas. (1 [Met] = 100 [W])**

Actividad	Carga térmica [Met/persona]	Carga Térmica [W/persona]
Sentado, quieto	1	100
Parado, relajado	1,2	120
Caminando 0,89 m/s	2	200
Caminando 1,8 m/s	3,8	380
Aserruchando	4,4	440
Cepillado a mano	6	600
Cuidado de hornos	6	600
Trabajo garage	2,6	260
Trabajo Laboratorio	1,6	160
Trabajo Mecánico Liviano	2,2	220
Trabajo fundición	4	400
Profesor	1,6	160
Trabajo Casero	2,7	270
Cocinado casero	1,8	180
Lavado y Planchado a mano	2,8	280
Ejercicio gimnasia	3,5	350
Bailes	3,4	340

(Fuente: Apuntes de clases, “Climatización industrial”, Cap. 3, Prof. Roberto Román L., Universidad de Chile)

Es claro que tanto el número simultáneo de habitantes en la vivienda, como también las actividades realizadas, dependen si se trata de un día hábil o de fin de semana.

Considerando el número de habitantes, el tipo de día y la carga térmica que producen según su actividad, se obtiene la tabla siguiente que da cuenta de las cargas térmicas por familia a lo largo del día.

**Tabla 3.18: Cargas térmicas producto de habitantes de vivienda, según hora del día.**

Hora	Número de ocupantes		Carga Térmica [Wh]	
	Día Hábil	Fin de Semana	Día Hábil	Fin de Semana
1:00	4	4	400	400
2:00	4	4	400	400
3:00	4	4	400	400
4:00	4	4	400	400
5:00	4	4	400	400
6:00	4	4	400	400
7:00	4	4	480	400
8:00	1	4	270	400
9:00	1	4	270	400
10:00	1	4	270	400
11:00	1	4	270	540
12:00	1	4	180	540
13:00	3	4	510	540
14:00	3	4	510	800
15:00	3	4	510	800
16:00	3	4	510	800
17:00	3	4	510	800
18:00	3	4	510	800
19:00	4	4	510	800
20:00	4	4	510	800
21:00	4	4	510	400
22:00	4	4	400	400
23:00	4	4	400	400
0:00	4	4	400	400

(Fuente: Elaboración propia).

#### Equipos

Los equipos en uso durante el día son fuente de cargas térmicas, por lo que deben ser considerados ya que son un alivio a la demanda de calefacción.

A partir del informe de la CDT (2010) es posible conocer el consumo energético total promedio por aparato en la zona térmica 7. Se hace la distinción entre aparatos eléctricos (electrodomésticos y electrónicos) y térmicos (cocina y horno, consumidores de gas natural).

El consumo promedio eléctrico por hogar durante la época de verano es de 789,8 [kWh], mientras que en invierno asciende a 884,2 [kWh]. El consumo promedio anual de energía eléctrica es entonces de 837 [kWh/año]. Por otro lado, la cocina y horno a nivel hogar consumen el promedio 234,7 [kWh] en verano y 262,2 [kWh] en invierno. El consumo promedio anual de gas natural en cocina es de 248,5 [kWh].

Considerando el consumo eléctrico y de gas natural en aparatos domésticos en conjunto, para un año de 365 días, se tiene que el consumo diario promedio en los hogares es de 2,97 [kWh]. El valor anterior se distribuye uniformemente como carga térmica durante 16 horas (entre las 7:00 hrs. y las 23:00 hrs.), con lo que se obtiene una carga constante de 0,186 [kWh] por vivienda.

### 3.3.2. Confort Térmico de diseño

Como se mencionó anteriormente el confort térmico es el estado mental en que se tiene percepción de agrado en relación a las condiciones ambientales en donde se habita. Esto tiene relación principal con la temperatura y humedad presentes en el ambiente.

Según el trabajo de Gamma (2012), de 15 viviendas visitadas y medidas, todas tenían una temperatura interna entre los 15 y los 23 °C, siendo el promedio 21 °C. La humedad interior promedio medida fue de 50%. En dicho estudio también se menciona que a nivel cultural está inculcada la costumbre de usar dentro de las viviendas vestimentas similares durante todo el año (con tendencia a la ropa ligera propia de periodos cálidos), por lo que no existe gran variabilidad en materia de requerimientos de confort térmico entre estaciones.

Se determina por lo tanto que la condición de confort para las viviendas de Punta Arenas es de 21 °C de temperatura.

### 3.3.3. Demanda de calor para generación de ACS

Para la estimación de requerimientos térmicos por concepto de generación de agua caliente sanitaria se estima como requerimiento promedio al expresado por el reglamento de la Ley 20.365. Se establece en el documento legal que el consumo de agua caliente sanitaria per cápita en viviendas unifamiliares es de [40 lt/día] para ACS a 45 °C de temperatura.

A partir del requerimiento anterior, se puede determinar la demanda térmica mediante la ecuación 3.11.

$$Q_{ACS} = \frac{(40 \cdot N \cdot C_{p_{agua}} \cdot (45 - T_{AguaRed}))}{\eta} \quad (3.11)$$

En donde,

$Q_{ACS}$ : Calor requerido para la generación del ACS familiar en una vivienda.

N: Cantidad de habitantes por vivienda. Se asume un valor de 4 [hab/vivienda] para los barrios en estudio.

$C_{p_{agua}}$ : Calor específico del agua, 1 [Kcal/kg].

$T_{AguaRed}$ : Temperatura a la que es provista el agua de red (se usa promedio de cada mes de tabla 12.3).

$\eta$ : Eficiencia en base al poder calorífico superior de la generación de ACS, equivalente a un 80% (en base a CDT, 2010).

La demanda térmica por concepto de ACS se puede observar en la tabla siguiente.

**Tabla 3.19: Demanda calórica diaria promedio por concepto de ACS.**

Mes	Temperatura Agua Red [°C]	Req. ACS [kWh/vivienda]
Enero	9,6	8,2
Febrero	10,2	8,1
Marzo	9,8	8,2
Abril	8,6	8,5
Mayo	6,5	9,0
Junio	4,3	9,5
Julio	2,5	9,9
Agosto	2,0	10,0
Septiembre	2,9	9,8
Octubre	4,5	9,4
Noviembre	6,4	9,0
Diciembre	8,2	8,6

(Fuente: Elaboración propia)

Por simplicidad se asume que este requerimiento de ACS es mayoritariamente para satisfacer las necesidades higiénicas de los habitantes de las viviendas (duchas). Por lo anterior se considera que la generación de ACS ocurre entre las 4:00 y las 6:00 hrs. (se distribuye uniformemente la demanda calórica en esas dos horas. Se asume uso de acumulador).

### 3.3.4. Resultados demanda térmica residencial

A partir de las consideraciones detalladas en los apartados anteriores es posible estimar la demanda térmica para cada tipo de vivienda a lo largo del año.

Se hace la distinción entre la demanda bruta y la neta. La demanda bruta consiste en la cantidad de energía necesaria para mantener las condiciones de confort a lo largo de todo el día, durante todo el año. La demanda neta es aquella que se ajusta mediante las prácticas y costumbres propias de los habitantes de la región y que se ha podido recopilar en la bibliografía (periodos de encendido de calefacción, tiempos de ventilación, etc.).

En ambos casos se incluye la demanda térmica por concepto de ACS.

#### **Demanda térmica bruta por vivienda**

Las demandas térmicas requeridas para suplir de ACS y satisfacer las condiciones de confort térmico las 24 horas del día durante todo el año, para los distintos tipos de viviendas, son las expresadas en detalle en el anexo C. La tabla 3.20 muestra los resultados finales de demandas brutas.

**Tabla 3.20: Demanda bruta de calor anual por vivienda según su tipo.**

	<b>TIPO</b>	<b>MEJORADA</b>	<b>EE</b>
Total [kWh/año]	76598	70450	37271
Area vivienda [m2]	70	85	88
Consumo Anual [kWh/m2]	1094	834	424

(Fuente: Elaboración propia)

Como era esperable, la demanda térmica en una vivienda EE es casi la mitad de una vivienda mejorada. Por otro lado la diferencia entre una vivienda Mejorada y una Tipo si bien es significativa, no es de la envergadura de la diferencia entre la vivienda Mejorada y la EE. Lo anterior se debe a que la vivienda EE presenta mejoras que marcan la diferencia en relación a la vivienda Mejorada (aislación de suelo, DVH de mejor calidad, etc.).

### **Demanda térmica neta por vivienda**

La demanda térmica neta es aquella que se ajusta según las consideraciones y costumbres de operación de los habitantes de la región. Dado que es un mejor reflejo de la realidad, es el valor que será considerado para el estudio de demanda de calor.

### **Comportamientos y prácticas determinantes de la demanda**

La revisión bibliográfica, en particular el trabajo realizado por Gamma (2012), da cuenta de las prácticas y comportamiento de los usuarios de la ciudad con respecto al uso de la calefacción.

En una encuesta realizada a 85 hogares de Punta Arenas, se obtienen los siguientes resultados<sup>6</sup>:

- El 11% de los encuestados mantiene encendida la calefacción todo el día, durante todo el año.
- El 1% de los encuestados mantiene encendida la calefacción todo el día durante sólo los meses fríos (es decir, casi la totalidad de los que nunca apagan la calefacción la mantienen encendida todo el año). Meses fríos considerados son de Abril a Septiembre.
- El 13% de los encuestados declara que deja la calefacción en el mínimo durante la noche. El 87% restante la apaga.

A partir de los resultados anteriores se extrapola y generaliza el comportamiento a las distintas tipologías de vivienda mediante los intervalos de operación de la calefacción detallados en la tabla 3.21.

---

<sup>6</sup> Gamma, 2012.

**Tabla 3.21: Distribución en el uso de calefacción según tipología de vivienda.**

Temporada	Vivienda Tipo		Vivienda Mejorada y EE (1)	
	Horas Calef.	Horarios	Horas Calef.	Horarios
Abril-Septiembre	18	06:00 a 23:00 hrs.	10	07:00 a 08:00 y 16:00 a 23:00 hrs.
Octubre-Marzo	10	07:00 a 08:00 y 16:00 a 23:00 hrs.	6,5	17:00 a 23:00 hrs.

(Fuente: Elaboración propia en base a Gamma 2012)

- (1) El estudio de Gamma 2012 hace la distinción entre viviendas de Autoconstrucción y no autoconstrucción. Por características y materialidad se asemeja la casa tipo como una de autoconstrucción, así mismo, se asemeja la vivienda de no autoconstrucción a la tipología mejorada y EE.

### Resultados de demanda térmica neta por vivienda

Considerando la demanda bruta de calefacción necesaria para satisfacer los requerimientos de confort y los comportamientos de los usuarios, descritos anteriormente, se obtiene la demanda neta.

**Tabla 3.22: Demanda neta de calor anual según tipo de vivienda.**

	TIPO	MEJORADA	EE
Total [kWh/año]	43268	26588	15159
Area vivienda [m <sup>2</sup> ]	70	85	88
Consumo Anual [kWh/m <sup>2</sup> ]	618	315	172

(Fuente: Elaboración propia)

Se obtiene que la demanda térmica por m<sup>2</sup> de construcción de la vivienda Tipo es casi el doble de la demanda de la vivienda Mejorada, la que a su vez es casi el doble de la demanda de la vivienda EE. Resulta esperable si se considera que en las viviendas Tipo el consumo de calor es más prolongado (calefacción encendida una mayor cantidad de horas) e intensivo que en las vivienda Mejoradas y EE. Las diferencias entre las viviendas Mejoradas y EE se explican por las diferencias en la materialidad de las construcciones.

### Demanda térmica neta total de sectores en estudio.

Teniéndose en consideración la demanda térmica neta de cada tipo de vivienda, la cantidad de viviendas de cada tipo (a partir de la información demográfica de los barrios seleccionados) y el factor de agrupamiento (detallado en la tabla 3.16) se puede establecer la demanda térmica durante las horas del día para todos los meses del año.

Se observa que la máxima demanda térmica ocurre a las 7:00 hrs. de los días de agosto, correspondiente a 25.515 [kWh]. Se considera por lo tanto este valor como la demanda domiciliar que debe satisfacer la planta generadora de calor.

**Tabla 3.23: Consumo total térmico domiciliario para alcance seleccionado.**

Mes	Consumo total térmico del alcance seleccionado, según horario [kWh]																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	10027	9554	0	0	0	0	0	0	0	8167	16122	16966	17462	18685	18901	19393	19606	0
2	0	0	0	0	0	0	11005	10048	0	0	0	0	0	0	0	8659	17155	17951	18680	19403	19631	20134	20359	0
3	0	0	0	0	0	0	11143	10291	0	0	0	0	0	0	0	8722	17434	18616	19440	19782	19997	20487	20699	0
4	0	0	0	0	0	13066	23246	20677	10551	9830	9070	8673	8466	8096	8720	17297	18963	19688	20009	20326	21516	21700	21883	0
5	0	0	0	0	0	12477	22947	23074	12231	11489	10891	10608	9981	9983	10574	20963	21645	21876	22105	22332	22382	22707	22756	0
6	0	0	0	0	0	13632	24882	25433	13979	13279	12677	12391	11769	11603	12148	23642	23870	24097	24323	24549	24573	24872	24896	0
7	0	0	0	0	0	13811	25395	25437	13791	13045	12240	11820	11614	11129	11706	22985	23222	23458	23693	23928	24974	25017	25059	0
8	0	0	0	0	0	14260	25515	23794	12301	11666	11184	11011	10486	10585	11147	21672	22986	23180	23373	23566	23695	24101	24230	0
9	0	0	0	0	0	13415	23194	20841	10955	10308	9612	9270	9108	8774	9333	17845	19563	20846	21107	21366	22553	22734	22914	0
10	0	0	0	0	0	0	11476	10562	0	0	0	0	0	0	0	9204	18159	19185	20331	20692	20878	21339	21523	0
11	0	0	0	0	0	0	10635	10225	0	0	0	0	0	0	0	8457	16602	17631	18190	18904	19686	20239	20514	0
12	0	0	0	0	0	0	10420	9872	0	0	0	0	0	0	0	8437	16550	17022	17550	18224	19983	20252	20519	0

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.3.5. Resultados demanda térmica recintos públicos

#### Demanda térmica Hospital Clínico Regional

El Hospital Clínico regional (HCR) cumple las labores de satisfacción de atención médica de mediana y alta complejidad. En la actualidad cuenta con 416 camas en una construcción de 19.000 [m<sup>2</sup>], respondiendo a la demanda del 85% del total de actividades del servicio de salud de la XII región.

#### Demanda térmica Hospital Clínico Regional

La distribución en el consumo de combustible en el HCR se puede asimilar al comportamiento del sector público en la región de acuerdo a las estadísticas de SEC, 2010. Considerando el consumo total anual del sector, es posible determinar los consumos porcentuales de cada mes, a fin de obtener un perfil. Se detalla en la tabla siguiente.

**Tabla 3.24: Perfil de consumo fiscal de GN en la XII región para el año 2010.**

Mes	Consumo de GN sector público [Mm <sup>3</sup> ]	Porcentaje del consumo anual [%]
1	833	5%
2	819	5%
3	1.140	6%
4	1.390	8%
5	1.644	9%
6	1.881	11%
7	1.919	11%
8	2.036	12%
9	1.839	10%
10	1.521	9%
11	1.291	7%
12	1.284	7%
<b>Total</b>	<b>17.597</b>	<b>100%</b>

(Fuente: Elaboración propia a partir de SEC 2010)

Se desprende que el sector fiscal tiene un consumo anual de gas natural en la región equivalente a 17.597 [Mm<sup>3</sup>]. Se asume que, dada su importancia, tamaño y la escasa existencia de otros recintos asistenciales en la región, el consumo de gas natural del HCR corresponde al 2% del total del consumo fiscal de la región. Considerando lo anterior, el consumo anual de gas natural del HCR es de 317.800 [m<sup>3</sup>]. Se asume que el 90% del consumo del combustible tiene como fin la calefacción y la generación de ACS (10% restante para labores de cocina y lavandería). El rendimiento de combustión de caldera se asume igual a 80%.

Siguiendo el perfil de consumo fiscal en el año, es posible determinar las demandas térmicas del HCR a lo largo de los meses del año, tabla siguiente.

**Tabla 3.25: Consumo energético en calefacción y ACS en HCR.**

Mes	Porcentaje del consumo anual [%] (1)	Consumo de GN en HCR [m3/mes]	Consumo de GN para calefacción y ACS [m3/mes] (2)	Consumo energético calefacción y ACS [kWh/mes] (3)	Consumo diario en calef. Y ACS [kWh/día]	Consumo horario en calef. Y ACS [kWh/h] (4)
1	5%	15.044	13.540	119.651	3.860	161
2	5%	14.791	13.312	117.640	4.201	175
3	6%	20.588	18.529	163.749	5.282	220
4	8%	25.103	22.593	199.658	6.655	277
5	9%	29.690	26.721	236.143	7.618	317
6	11%	33.971	30.574	270.185	9.006	375
7	11%	34.657	31.191	275.644	8.892	370
8	12%	36.770	33.093	292.449	9.434	393
9	10%	33.212	29.891	264.152	8.805	367
10	9%	27.469	24.722	218.475	7.048	294
11	7%	23.315	20.984	185.438	6.181	258
12	7%	23.189	20.870	184.433	5.949	248
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>317.800</b>	<b>286.020</b>	<b>2.527.619</b>	-	-
<b>Promedio</b>	-	<b>26.483</b>	<b>23.835</b>	<b>210.635</b>	<b>6.911</b>	<b>288</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Siguiendo patrón de comportamiento anual en sector fiscal de la XII región, tal como se ve en tabla 3.24.
- (2) Correspondiente al 90% del total según se estima.
- (3) Poder calorífico de gas natural de Magallanes equivalente a 9.500 [Kcal/m<sup>3</sup>]. Se asume rendimiento de caldera de 80%.
- (4) Se asume distribución uniforme del consumo a lo largo del día en las 24 horas de atención.

## Demanda térmica Centros Comerciales

### Centro comercial Espacio Urbano Pionero

El centro comercial Espacio Urbano Pionero pertenece a la empresa inmobiliaria Saitec, filial de Wal-Mart Chile. En el año 2004 se inaugura el supermercado Líder Punta Arenas con 6.000 [m<sup>2</sup>] de construcción, constituido por el supermercado, 15 tiendas y tres restaurantes. Es en el año 2008 en que se incorpora un centro comercial bajo la marca “Espacio Urbano”.

El centro comercial totaliza 82.000 [m<sup>2</sup>] de construcción en cuatro niveles (2 subsuelos y 2 niveles sobre la superficie). Cuenta con 3 tiendas ancla, 50 tiendas menores, hipermercado, gimnasio, patio de comidas y un cine de tres salas.

#### Demanda térmica de Mall Espacio Urbano

A continuación se detallan los supuestos y resultados de la estimación de la demanda térmica en el centro comercial Espacio Urbano.

En primera lugar se conoce el perfil de consumo de gas natural en el sector comercial en la región a partir de la información de la SEC (2010). Se observa en la tabla siguiente.

**Tabla 3.26: Perfil de consumo comercial de GN en la XII región para el año 2010.**

Mes	Consumo de GN sector comercial [Mm3]	Porcentaje del consumo anual [%]
1	1.700	5%
2	1.766	5%
3	1.999	6%
4	2.729	8%
5	3.184	9%
6	3.583	11%
7	4.152	12%
8	3.834	11%
9	3.558	11%
10	2.786	8%
11	2.201	7%
12	2.257	7%
<b>Total</b>	<b>33.749</b>	<b>100%</b>

(Fuente: Elaboración propia a partir de SEC 2010)

Se observa que el sector comercial en la región de Magallanes consume 33.749 [Mm3], siendo julio el mes de mayor consumo con un 12% del consumo total anual. Se asume que el consumo anual del centro comercial Espacio Urbano corresponde al 0,5% del total comercial de la región, es decir, el consumo equivale a 168.745 [m<sup>3</sup>/año].

A partir del informe “Estudio diagnóstico de Sector *Retail*” (Gamma, 2009) se accede a los resultados de una encuesta realizada a 20 centros comerciales en materia de uso y eficiencia de energía. A partir del informe anterior se conoce que un 63% del total de energía suministrada como combustible a los centros comerciales es utilizada en calefacción y un 12% para la generación de ACS, totalizando ambos el 75% del consumo de combustibles. En el caso del *Mall* Espacio Urbano se asumirá que este porcentaje asciende al 80% dadas las condiciones climáticas de Punta Arenas.

Este consumo se distribuye de acuerdo al perfil detallado en la tabla 3.26 a lo largo del año, lo que se observa en la tabla siguiente.

**Tabla 3.27: Consumo energético en calefacción y ACS en Mall Espacio Urbano.**

Mes	Porcentaje del consumo anual [%] (1)	Consumo de GN en Mall [m3]	Consumo de GN para calefacción y ACS [m3/mes] (2)	Consumo energético calefacción y ACS [kWh/mes] (3)	Consumo diario en calef. Y ACS [kWh/día]	Consumo horario en calef. Y ACS [kWh/h] (4)
1	5%	8.500	6.800	60.093	1.938	162
2	5%	8.830	7.064	62.426	2.230	186
3	6%	9.995	7.996	70.662	2.279	190
4	8%	13.645	10.916	96.467	3.216	268
5	9%	15.920	12.736	112.551	3.631	303
6	11%	17.915	14.332	126.655	4.222	352
7	12%	20.760	16.608	146.768	4.734	395
8	11%	19.170	15.336	135.527	4.372	364
9	11%	17.790	14.232	125.771	4.192	349
10	8%	13.930	11.144	98.482	3.177	265
11	7%	11.005	8.804	77.803	2.593	216
12	7%	11.285	9.028	79.782	2.574	214
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>168.745</b>	<b>134.996</b>	<b>1.192.988</b>	-	-
<b>Promedio</b>	-	<b>14.062</b>	<b>11.250</b>	<b>99.416</b>	<b>3.263</b>	<b>272</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Siguiendo patrón de comportamiento en sector comercial de la XII región, tal como se ve en tabla 3.26.  
 (2) Correspondiente al 80% del total según se estima a partir de Gamma (2009).  
 (3) Poder calorífico de gas natural de Magallanes equivalente a 9.500 [Kcal/m<sup>3</sup>]. Rendimiento de caldera de 80%.  
 (4) Se asume distribución uniforme del consumo a lo largo del día en las 12 horas de atención.

### Zona Franca

La Zona Franca de Punta Arenas opera desde el año 1977. Cuenta con más de 53 hectáreas de terreno en donde operan aprox. 550 empresas y personas naturales inscritas como usuarias de las instalaciones. Al interior del recinto se ubica el centro comercial Zona Austral, con 11.600 [m<sup>2</sup>] de construcción y aproximadamente 80 comercios instalados. Se selecciona ese recinto para la provisión de calor.

#### Demanda térmica de centro comercial Zona Austral

Se considerará que de toda la zona franca sólo se proveerá calor al centro comercial Zona Austral. De todas formas, la densidad de demanda de calor hace interesante la incorporación del resto de las instalaciones para expansiones futuras.

Asumiendo que el consumo energético es proporcional al área de construcción y que la materialidad del centro comercial Zona Austral es similar al del centro comercial Espacio Urbano, se obtiene el consumo del primero, es decir

$$Consumo_{ZonaAustral} = \frac{11.600}{82.000} Consumo_{EspacioUrbano} \quad (3.12)$$

Los resultados se detallan en la tabla siguiente.

**Tabla 3.28: Consumo energético en calefacción y ACS en Mall Zona Austral.**

Mes	Consumo energético calefacción y ACS [kW h/mes]	Consumo diario en calef. Y ACS [kW h/día]	Consumo horario en calef. Y ACS [kW h/h] (1)
1	10.626	343	29
2	11.039	394	33
3	12.495	403	34
4	17.058	569	47
5	19.902	642	54
6	22.396	747	62
7	25.953	837	70
8	23.965	773	64
9	22.240	741	62
10	17.414	562	47
11	13.758	459	38
12	14.108	455	38
<b>Total</b>	<b>210.955</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Promedio</b>	<b>17.580</b>	<b>577</b>	<b>48</b>

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Se asume distribución uniforme del consumo a lo largo del día en las 12 horas de atención.

### **Demanda térmica total recintos públicos**

Puesto que se asumen distribuciones uniformes en los consumos de calor de los recintos públicos, es posible obtener una demanda consolidada de dichas instalaciones a fin de conocer la potencia que les deberá suplir la central generadora de calor. Se resume en la tabla siguiente.

**Tabla 3.29: Demanda horaria total de recintos públicos considerados en evaluación.**

Mes	Consumo horario total en calef. Y ACS recintos públicos [kW h/h] 10:00 a 22:00 hrs.	Consumo horario total en calef. Y ACS recintos públicos [kW h/h] 22:00 a 10:00 hrs.
Enero	345	161
Febrero	387	175
Marzo	437	220
Abril	583	277
Mayo	663	317
Junio	777	375
Julio	821	370
Agosto	809	393
Septiembre	766	367
Octubre	596	294
Noviembre	504	258
Diciembre	493	248
<b>Promedio</b>	<b>598</b>	<b>288</b>

(Fuente: Elaboración propia)

### **3.3.6. Demanda térmica total**

La demanda térmica a satisfacer por el proveedor del servicio corresponde a la percibida desde los consumidores residenciales y de recintos públicos.

Añadiendo a los consumos domiciliarios (tabla 3.23) los posibles consumos producto de los recintos públicos (tabla 3.29) se obtiene la demanda total a satisfacer.

Nuevamente se obtiene que la máxima carga térmica se produce entre las 7:00 y las 8:00 hrs. de los días de agosto (esperable considerando que así ocurría con el sector residencial por sí sólo, predominante en la demanda). Dicha demanda asciende a los 25.908 [kWh], equivalentes a 2.345 [m<sup>3</sup>] de gas natural. Para un día cualquiera de Agosto, la demanda total térmica de todos los suscriptores asciende a 340,8 [MWh].

El comportamiento en detalle puede ser visto en la tabla D.7 del anexo D.

## **3.4. Dimensionamiento y selección de equipos del sistema**

En este capítulo se aborda la selección de equipos y el diseño de la implementación a fin de satisfacer, de manera adecuada, las demandas térmicas de los usuarios comprendidos en el alcance seleccionado.

### **3.4.1. Consideraciones preliminares**

Previo al diseño de la implementación, se consideran e incorporan los siguientes factores al diseño.

#### **Proyección de crecimiento suscriptores**

Una parte importante de la inversión de una red de calefacción distrital es la construcción misma de la red y de la central generadora de calor (cualquiera sea el tipo de ésta). Es por esto que dicha inversión debe realizarse de manera tal que permita absorber crecimientos futuros en la demanda de calor.

En este sentido, es importante considerar que la construcción gruesa de la red se debe realizar una única vez, para luego incorporar a los futuros suscriptores mediante pequeñas intervenciones, es decir, diseñar la red pensando que en el futuro la demanda a suplir será mayor y que el costo de las futuras incorporaciones será marginal. De esta forma se evita repetir, en casos en que la instalación resulte insuficiente, los gastos de excavación, reemplazo de tuberías y equipos, ingeniería, etc.

#### **Crecimiento estimado de suscriptores**

Como se observa en la tabla 2.4 del capítulo de antecedentes, la tasa de crecimiento poblacional en la ciudad de Punta Arenas corresponde a un 0,2% anual. Considerando la

población proyectada para el año 2010 (121.199 habitantes, proyección en base a censo del 2002, tabla 2.4) en 20 años la población habrá aumentado en aproximadamente 5.000 habitantes, llegando a una cifra aproximada de 126.140 habitantes. Este crecimiento poblacional repercutirá en la incorporación de aproximadamente 1.200 nuevas viviendas en la ciudad para los próximos 20 años (manteniendo la tendencia de 4 habitantes por vivienda, observada en los barrios en estudio).

Se considera que el sector seleccionado es de expansión urbana (y que por lo tanto debería absorber parte del crecimiento urbano en los próximos 20 años, horizonte de tiempo típico para evaluaciones de calefacción distrital) y que además existe la posibilidad de incorporar consumos industriales<sup>7</sup> no previstos en el estudio. Con lo anterior se diseña la implementación de tal forma de que pueda llegar a satisfacer el consumo máximo actual más un 50% correspondiente a posibles demandas futuras.

### Factor de simultaneidad

Se debe considerar la existencia de una gran diversidad de consumidores al momento de establecer los flujos de agua caliente de diseño. Es por esto que, como recomienda la ASHRAE<sup>8</sup>, el calor a suplir y la red principal de distribución deben ser dimensionados para una carga máxima que es menor a la suma de todas las cargas máximas individuales de los suscriptores. Se incorpora por lo tanto un factor de simultaneidad para el cálculo que dé cuenta del porcentaje de carga máxima a suplir considerando una demanda máxima teórica (la calculada en este capítulo).

El trabajo de Werner (1984) detalla el estudio de carga térmica en seis redes de distribución de calor de baja temperatura (como se denomina a las redes con temperatura de operación del fluido de hasta 121 °C) en Suecia. El estudio concluye con el hallazgo de una gran diversidad de factores, siendo el mínimo 0,57 y el máximo 0,79. El promedio corresponde a 0,685.

Considerando que deben existir diferencias considerables en la materialidad de las construcciones de Suecia y las de Punta Arenas (peores condiciones en Punta Arenas), además de tenerse presente que es probable una similitud en las condiciones climáticas en ambos lugares, se tomará como factor de simultaneidad el máximo encontrado por Werner, correspondiente a 0,79.

### Demanda/carga térmica de diseño

Al momento de diseñar sistemas de provisión de servicios, sobre todo aquellos que presentan marcadas estacionalidades en su demanda, se debe tener en consideración dos situaciones de operación:

- Situación de máxima demanda, y por lo tanto, de máxima exigencia del sistema.

---

<sup>7</sup> El lugar de emplazamiento de la central de calor, cualquiera sea el tipo de ésta, debe ubicarse en zona H según establece el plano regulador. La zona H congrega la mayor parte de instalaciones industriales de la ciudad. Ver capítulo 3.2.1.

<sup>8</sup> ASHRAE *Hanbook* 2008, p. 11.7

- Situación típica de operación, es decir, una situación representativa de la operación del sistema.

Dado lo anterior, se debe diseñar el sistema pensando en que operará la mayoría del tiempo bajo condiciones típicas, pero que debe ser capaz de afrontar exigencias máximas en algunos periodos no prolongados. Con esto se implementa y opera el sistema de manera económica, pero con libertad de operación en todo momento.

### **Demanda máxima del sistema**

Teniéndose presente el apartado 3.3.5 se concluye que el máximo de demanda térmica para la totalidad de suscriptores es de 25.908 [kWh]. Esta demanda de energía se produce a las 7:00 hrs. de los días de agosto (ver tabla D.7, anexo D). Considerando la proyección en el crecimiento de demanda (50% en 20 años) y el factor de simultaneidad, la demanda máxima total del sistema asciende a 30.701 [kWh/h] más pérdidas de calor en la red.

El sistema deberá ser capaz de atender, cuando ocurra, la demanda anterior.

### **Demanda típica**

La demanda energética típica de un tipo de consumidor (ya sea una vivienda tipo, mejorada o EE, además de cada recinto público) se asume igual al máximo promedio de consumo térmico horario durante un día<sup>9</sup>, entre las 6:00 y las 23:00 hrs. (17 horas de operación), para los 12 meses del año, es decir,  $\max \left\{ \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{1,i}}{17}, \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{2,i}}{17}, \dots, \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{12,i}}{17} \right\}$ . De esta forma se consideran operaciones diarias típicas ligeramente sobre exigidas, pero sin un sobredimensionamiento en el diseño.

Considerando el probable crecimiento de suscriptores y el factor de simultaneidad se obtiene la carga de diseño para cada tipo de consumidor “j”, según la fórmula 3.13.

$$Q_j = 1,5 \cdot 0,79 \cdot \max \left\{ \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{1,i}}{17}, \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{2,i}}{17}, \dots, \frac{\sum_{i=6}^{23} x_{12,i}}{17} \right\}_j \text{ [kWh]} \quad (3.13)$$

Se obtiene una demanda típica de diseño de 28.990 [kWh/h]. A partir de estos valores se diseña la red.

## **Configuración y tipo de red**

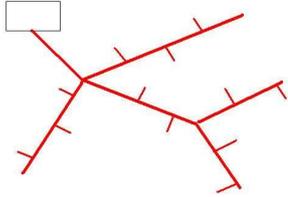
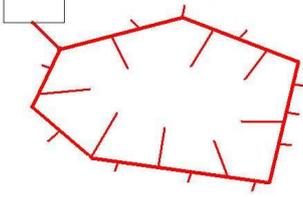
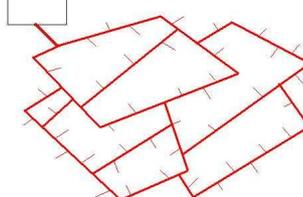
### **Configuraciones**

La red de transporte de calor puede adoptar diversas configuraciones, según se observa en la tabla 3.30.

---

<sup>9</sup> Consumos detallados en anexo C. Se promedian las demandas brutas entre las 6 y las 23 hrs. a fin de incorporar en el supuesto la componente de variabilidad de la demanda a lo largo de todo el día, independiente de las costumbres de operación de los suscriptores (reflejado en las demandas netas, anexo D).

**Tabla 3.30: Tipos de configuraciones de redes.**

Árbol	Anillo	Malla
		

(Fuente: Elaboración propia)

La configuración tipo “árbol” resulta adecuada para implementaciones en que la fuente de calor es única (no necesariamente impide la incorporación de más centrales generadoras de calor en las ramas, pero se tiene la limitante de las reducciones de diámetro de tubería a medida que la red se aleja de la planta principal original) además de minimizar las longitudes de los tendidos de la red. Por otro lado, presenta poca flexibilidad frente a la incorporación de nuevos suscriptores. Frente a fallas en una rama, todo el sector queda desatendido.

La configuración tipo “anillo” facilita la incorporación de nuevas centrales generadoras de calor, a su vez que facilita la incorporación de nuevos suscriptores. Con esta configuración es factible la operación de casi la totalidad de la red frente a fallas o cortes en pequeños tramos. Por otro lado, las mayores longitudes en el trazado aumentan los costos de la inversión, al mismo tiempo de tenerse mayores pérdidas de calor producto de los mayores diámetros involucrados.

La configuración tipo “malla” permite adaptabilidad frente a fallas puntuales y ampliaciones e incorporaciones de suscriptores. Resulta compleja de gestionar y de alto costo de implementación (mayores longitudes de red, mayor intervención).

### **Tipos de redes e instalaciones**

Dependiendo de cómo vaya instalada la tubería en el trazado, las redes pueden clasificarse como subterráneas o aéreas. En el primer caso los mayores costos de instalación y mantenimiento se contrastan con el nulo impacto visual en el paisaje y la comodidad de tránsito en donde esté instalada una red subterránea. En el caso de las redes aéreas se tiene un menor costo de implementación y mantenimiento, pero con impactos visuales y viales considerables. Se debe considerar además que las redes subterráneas presentan menores pérdidas de calor por transmisión.

#### **Tipos de redes subterráneas**

Los distintos tipos de redes subterráneas se determinan según cómo se instalen las líneas de suministro y retorno del agua caliente bajo tierra. La tabla 3.31 muestra los distintos tipos de instalación existentes.

Las cañerías subterráneas de tipo enterradas son la configuración más extendida en el mundo por su facilidad de instalación, adaptabilidad a cualquier condición climática y economía. Una desventaja del sistema es el hecho de que las tuberías descansan en el mismo aislante, mermándose la efectividad y durabilidad de éste.

En el caso de las cañerías enterradas con carcasa se tiene aislación adicional producto de la capa de aire o aislante existente entre la carcasa y las cañerías, además de la misma carcasa. Esta última implementación también presenta una mejor respuesta a la degradación y corrosión producto de las condiciones externas. Resulta más económica que las cañerías enterradas<sup>10</sup> y es de más fácil instalación (zanja más estrecha).

Las cañerías enterradas con aislante vertido requieren una mayor área de protección frente a los agentes externos por lo que resultan más costosas. También presentan el inconveniente del descanso de las tuberías en el mismo aislante. No obstante, dada la mayor cantidad de material, presentan una aislación superior.

El lecho de concreto facilita considerablemente las labores de mantención de la red, así como también la protección de la aislación frente a los agentes externos. Instalaciones como esta generan la oportunidad de utilizar la red para la distribución de otros servicios en el mismo espacio (fibra óptica, cableado telefónico, etc.). Es considerablemente más costoso que los casos anteriores. En caso de infiltraciones puede presentar problemas en el escurrimiento o desalojo de agua.

La implementación mediante túnel ve contrastado su alto costo con las facilidades de mantención e inspección. Permite transmisión de otros servicios.

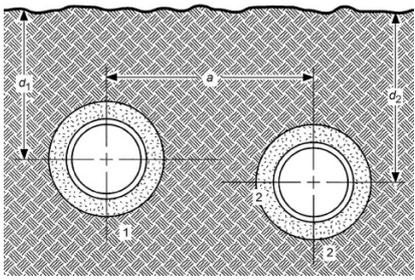
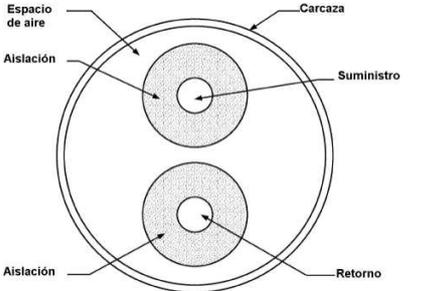
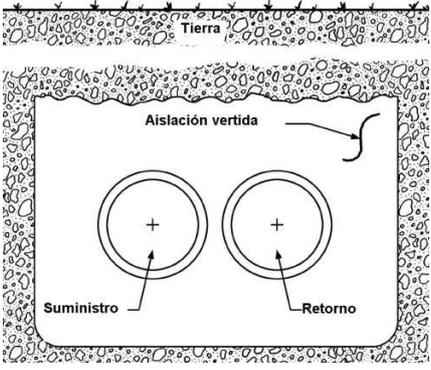
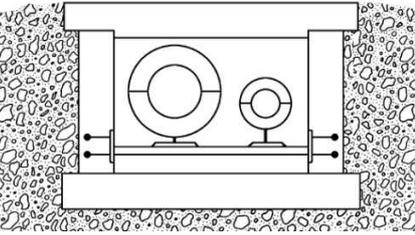
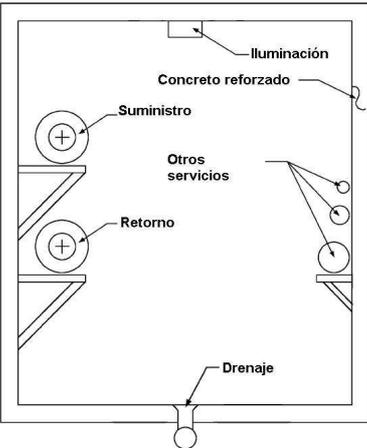
Se debe considerar el nivel estático del agua de escurrimiento de precipitaciones al momento de pensar en redes subterráneas. En el caso de Punta Arenas el nivel estático se encuentra a 2 [m] de profundidad<sup>11</sup>, por lo que la acumulación de agua bajo la superficie no es un impedimento para las instalaciones subterráneas.

---

<sup>10</sup> Considerando catálogo de precios de julio de 2011 de la empresa Uponor. Se constata que es aprox. un 32% más económico que comprar dos cañerías pre aisladas por separado.

<sup>11</sup> Según Mapa Hidrológico de Chile. La XII región presenta suelos con tipo de permeabilidad “muy baja a ausente” (roca).

**Tabla 3.31: Configuraciones para redes de calor subterráneas.**

Cañerías enterradas	Cañerías enterradas con carcasa	Enterradas con aislante vertido
		
Lecho de concreto	Túnel	
		

(Fuente: ASHRAE, 2008)

### Conexiones de redes

Las redes de distribución de calor pueden ser tanto directas como indirectas, según sea como se transmita el calor desde su generación hasta su consumo. Se describe a continuación.

#### Redes directas

En este caso el agua que suministra calor a los consumidores es la misma que fue calentada en la caldera de la central generadora de calor.

Esta implementación tiene la ventaja de ser considerablemente económica (consumidores no requieren intercambiadores de calor) y eficientes (no existe intercambio térmico que afecte la eficiencia del sistema).

La desventaja de sistemas como este es el riesgo para el sistema completo frente a una falla particular de un consumidor. También este tipo de sistemas no es claro en delimitar responsabilidades frente a desperfectos, mantenciones e instalaciones.

#### Redes indirectas

En este caso el fluido caliente opera en dos o más bucles. El traspaso térmico entre bucles se lleva a cabo mediante la operación de intercambiadores de calor.

En caso de sistemas con fuente de calor geotérmica es común la existencia de tres bucles (en la central, la red y los circuitos particulares de los consumidores) a fin de encapsular los efectos corrosivos del agua geotermal a un único bucle. En el resto de implementaciones es común la existencia de dos bucles (central-red y circuitos particulares).

Con este tipo de conexiones se remarcan las responsabilidades de las partes frente a la instalación.

### Clasificaciones de redes por temperaturas

Los sistemas de agua pueden ser clasificados como sigue<sup>12</sup>:

- Sistema de agua de baja temperatura (LTW, del inglés).
  - Operación bajo temperaturas y presión límites de código ASME<sup>13</sup>. Presión máxima de 160 [psig] y temperatura máxima de 250° F (121 °C). Presión máxima de calderas de 30 [psi].
- Sistema de agua de temperatura media (MTW)
  - Temperatura de operación entre 250 y 350° F (121 y 177° C). Presión máxima de 160 [psi].
- Sistema de agua de alta temperatura (HTW)
  - Temperaturas por sobre los 350° F (177° C) y presiones cercanas a los 300 [psi].

Se debe notar que en todos los casos se utiliza agua presurizada para evitar el cambio de fase.

Dado que presenta menores pérdidas de calor (al tener menores temperaturas de operación y por lo tanto menor gradiente térmico) y menores requerimientos de presión para mantener la fase, se diseña considerando una red de agua a baja temperatura, es decir, que la temperatura máxima de operación es 121° C y una presión de 160 [psig]. Estas temperaturas también resultan adecuadas para la operación de equipos domésticos.

---

<sup>12</sup> ASHRAE Handbook 2008, 12.1. Se descarta detallar los sistemas de agua de enfriamiento, por no venir al caso.

<sup>13</sup> ASME, *American Society of Mechanical Engineers*.

## Tipo de operación

La red puede estar diseñada para operar bajo las premisas de flujo del agua variable (temperatura de retorno del fluido a la central constante) o constante (temperatura de retorno variable).

Los sistemas de flujo variable resultan beneficiosos en sistemas grandes, puesto que optimizan el uso de la energía y de la red de distribución. El flujo constante es típico de sistemas pequeños en que los costos de bombeo resultan ser bajos.

## Selección de tipo de red

A pesar de costar aprox. 10 veces más en su implementación<sup>14</sup> y ser de más difícil mantención se selecciona la implementación subterránea por sobre la aérea por motivos estéticos, eficiencia energética y de nulo impacto visual/vial.

Dada la selección de alcance de evaluación de proyecto propuesto se selecciona una red tipo “Árbol” (por disposición de consumidores, posibilidades de localización de fuentes de calor y economía). La red contará con dos bucles, es decir, será de conexión indirecta.

No obstante de ser más costosa, por simplicidad, variedad de diámetros comerciales y facilidad en caso de reparaciones se selecciona una red de tipo cañerías enterradas.

Por último, será una red de baja temperatura a flujo variable.

## Selección de material de tubería

### Consideraciones

La selección de materiales para la construcción de la red debe considerar los siguientes requerimientos<sup>15</sup>:

- Requerimientos de código/norma.
- Fluido (sustancia y fase en que éste se encuentre) utilizado en la red.
- Presión y temperatura del fluido.
- Ambiente externo de la cañería.
- Costo de instalación.

A los requerimientos anteriores el autor añade la disponibilidad de diámetros comerciales adecuados a los caudales requeridos.

La selección adecuada del material es fundamental dado que determina la rugosidad de las cañerías (y por lo tanto las pérdidas de carga), resistencia térmica, propiedades químicas y mecánicas.

---

<sup>14</sup> ASHRAE Handbook 2008, 11.20.

<sup>15</sup> ASHRAE, Handbook 2008, 45.6.

## Selección de materiales de red

Siguiendo las recomendaciones del trabajo de Peirano (2009) se utilizará el material PEX<sup>16</sup> cuando sea posible (material con primera prioridad). El PEX cumple con los requisitos listados anteriormente. Este material presenta mejores propiedades que el PP/FRP<sup>17</sup> ya que presenta mejores propiedades de acabado, conductividad y costo. El PEX también resulta apropiado para redes de agua caliente de baja temperatura (proveedores nacionales declaran que el material llega a tolerar temperaturas de operación de hasta 120° C. El proveedor<sup>18</sup> más conservador establece el límite en 95° C, pudiéndose tolerar temperaturas momentáneas de 110° C).

La tabla 3.31 resume características del material PEX.

**Tabla 3.31: Propiedades del PEX.**

Propiedad	Valor		Unidades
Conductividad térmica	0,35		[W/mK]
Rugosidad	0,000007		[m]
Resistencia a largo plazo según temperatura de operación	Temperatura [° C]	Resistencia a largo plazo	-
	20	76	[kg/cm2]
	60	48	[kg/cm2]
	95	32	[kg/cm2]

(Fuente: Peirano, 2009)

Dentro de las ventajas del PEX se encuentra que no se ve afectado por corrosión, no se ve afectado por aguas de bajo pH, es resistente a fisuras (hasta 20% de espesor de pared), puede reducir el golpe de ariete a una tercera parte<sup>19</sup>, presenta resistencia frente al congelamiento del fluido, etc.

A pesar de sus bondades, el PEX se comercializa en diámetros internos de hasta 110 [mm] por lo que no es posible su implementación y utilización<sup>20</sup> de manera económica en redes de alto caudal como la propuesta.

Cuando no sea posible la utilización de PEX, se considera el uso del PP/FRP<sup>21</sup> material que tolera temperaturas de operación de hasta 100° C y que se comercializa en tuberías de

<sup>16</sup> Polietileno reticulado de alta densidad

<sup>17</sup> FRP: *Fiberglass Reinforced Plastic*. Por requerimiento de temperatura el *liner* para este tipo de tuberías debe ser el polipropileno (PP). El conjunto lleva por nombre PP/FRP. A pesar de ser resistente a temperaturas cercanas a 150°C, se descarta el uso de PVDF como *liner* en un conjunto PP/FR por su elevado costo.

<sup>18</sup> RECAL. [http://www.recal.cl/pex\\_tuberia\\_pex.html](http://www.recal.cl/pex_tuberia_pex.html) (consultado el 01 de mayo de 2012).

<sup>19</sup> En comparación a tuberías metálicas.

<sup>20</sup> Implementación considerando los elevados costos de confección de tuberías en diámetros especiales. Operación considerando las enormes pérdidas de carga para grandes caudales en tuberías pequeñas.

<sup>21</sup> Polipropileno reforzado con fibra de vidrio.

diámetros externos de hasta 24 [in]. Estas tuberías cuentan con dos tubos concéntricos, uno interno de Polipropileno (el *liner*, proveedor de la resistencia térmica y química del conjunto) y una carcasa de FRP externa (proveedor de la resistencia mecánica).

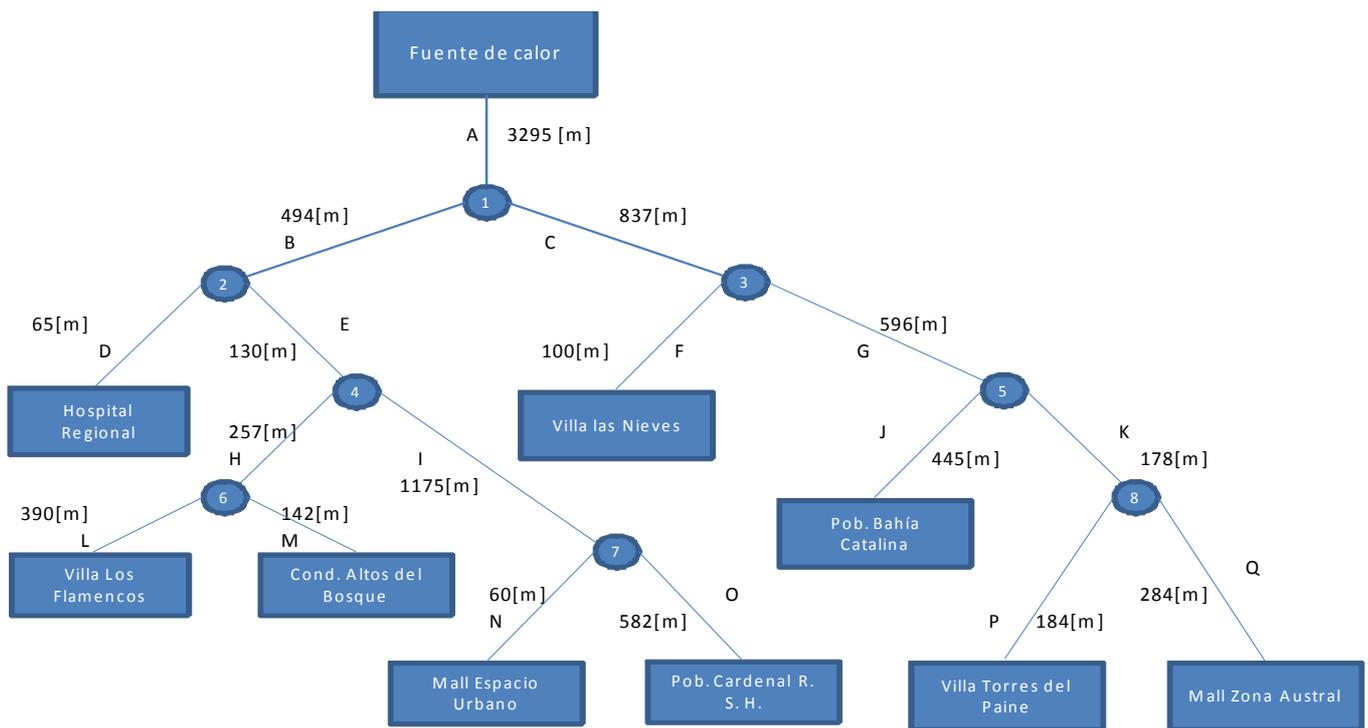
El uso de materiales plásticos evita la necesidad de incorporar protección catódica.

## Dimensionamiento de red

Antes de proceder al cálculo de las dimensiones necesarias de la red se debe dividir ésta a fin de poder analizar cada tramo de la red por separado, según sus requerimientos térmicos. De esta forma es posible seleccionar los diámetros de tuberías y equipos a la medida. Una vez definido eso, es posible proceder al dimensionamiento.

## Segmentación en tramos de la red

La red de la figura 3.7 se puede abstraer según se ve en la figura 3.17 (En las uniones de los nodos, tramos señalados con letras de A a Q, es posible ver las distancias reales que los separan<sup>22</sup>). Los cuadriláteros representan los “conjuntos de consumo” de calor (barrios o recintos públicos). Cada conjunto de consumo, si es residencial, está compuesto exclusivamente por viviendas de un único tipo (según “*clusterización*”).



**Figura 3.17: Esquematización de red.**

(Fuente: Elaboración propia)

<sup>22</sup> A partir de imágenes satelitales de *software* Google Earth.

## Cálculo

Conociéndose la abstracción de la red es posible describir el método de cálculo para el dimensionamiento de red. Se describe según el siguiente listado secuencial:

1. Determinar la demanda térmica de diseño de los conjuntos de consumo.
2. A partir de las demandas de diseño de los conjuntos de consumo determinar los caudales de agua caliente necesarios para satisfacerlos.
3. A partir de los caudales seleccionar los diámetros de tuberías en catálogos comerciales.
4. Conocidos los diámetros de cada tramo, determinar espesores de aislante.
5. Conocido la configuración de las tuberías (caudal, diámetro y espesor de aislante) se estiman las temperaturas de salida del agua caliente en cada tramo.
6. Con el diferencial de temperatura por tramo se determina la pérdida de calor por transmisión.
7. Considerando todas las pérdidas y consumos de calor se puede determinar la potencia de diseño de la central.

Todo lo anterior se lleva a cabo considerando la demanda térmica de cada conjunto de consumo

### Demandas de diseño de conjuntos de consumo

Los consumos típicos para cada tipología de suscriptor, ya sea residencial o público, se obtienen a partir de cálculo detallado en el apartado “Demanda típica” de este capítulo. En el caso de conjuntos de consumo públicos (hospital y comercio), se utiliza su demanda típica calculada con la ecuación 3.13 para el mes de mayor demanda.

Considerando la cantidad y tipo de viviendas de cada conjunto de consumo (conjuntos según la figura 3.3, cantidades de viviendas según tabla 3.5 y tipo de vivienda de apartado “Clusterización de tipologías de viviendas” de este capítulo), así como su factor de agrupamiento (tabla 3.16) se obtienen las demandas de calor de diseño de cada conjunto de consumo residencial. Lo anterior según la ecuación 3.14 para un conjunto de consumo con viviendas de tipo “j” ( $Q_j$  se calcula a partir de ecuación 3.13).

$$\text{Consumo}_{\text{conjunto}} [kWh] = \text{Cantidad de viviendas} \cdot \text{Factor Agrupamiento} \cdot Q_j \quad (3.14)$$

Se obtiene la tabla 3.32.

**Tabla 3.32: Demandas de calor en conjuntos de consumo.**

Conjunto de consumo	Tipología de vivienda	Número de viviendas de conjunto de consumo	Consumos típicos, Qj [kWh/vivienda] (1)	Demanda conjunto de consumo [kW]
VLN	Mejorada	754	11,02	8.008
VLF	Mejorada	90	11,02	956
CAB	EE	81	6,61	535
VTP	Mejorada	224	11,02	2.379
PBC	Mejorada	91	11,02	967
VCRSH	Tipo	1374	11,64	15.287
Hospital	-	1	393,00	393
Mall E.U.	-	1	395,00	395
Mall Z.A.	-	1	70,00	70
<b>Total</b>				<b>28.990</b>

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Considera factor de escalamiento y factor de simultaneidad.

Caudales de agua caliente por tramo

El calor entregado por un fluido puede expresarse según la ecuación 3.15.

$$\dot{Q}[W] = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.15)$$

Donde,

$\dot{m}$ : Caudal másico de fluido, expresado en [kg/s]

$C_p$ : Calor específico del fluido. En el caso del agua, se considera 4.232,7[J/kg°C]<sup>23</sup>

$\Delta T$ : Caída de temperatura, expresada en [°C] ó [K].

El caudal de agua puede ser despejado de la expresión 3.15 obteniéndose la ecuación 3.16.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}[W]}{C_p \cdot \Delta T} \quad (3.16)$$

El valor de  $\Delta T$  se puede fijar de acuerdo a la recomendación de la literatura<sup>24</sup> acerca de variaciones típicas de temperatura de diseño en sistemas hidráulicos domiciliarios<sup>25</sup>. El  $\Delta T$  típico de diseño para Estados Unidos es 20° F (11,1°C). Con lo anterior mas la ecuación 3.16 se obtienen los caudales para cada tramo de la red. La forma de obtener los caudales de diseño es afrontar la figura 3.17 como un árbol de decisión (del final hacia el principio, sumar los caudales de las ramas en la rama divergente). Se obtiene la tabla 3.32 con los resultados para cada tramo. Por ejemplo, observar que la suma de los caudales del tramo B y C equivalen al caudal del tramo A (que diverge en B y C).

<sup>23</sup> Puesto que el rango de temperaturas de operación va desde que el fluido abandona la central generadora de calor hasta que comienza su retorno, se asume como término medio el calor específico del agua a 90° C.

<sup>24</sup> ASHRAE *Hanbook* 2008, 12.1.

<sup>25</sup> Denominación para los sistemas de convección de calor para acondicionamiento de espacios o procesos con agua caliente.

**Tabla 3.32: Caudales para diseño de cada tramo de la red.**

Tramo	Largo [m]	Caudal de agua [kg/s]
A	3.295	617,0
B	494	373,9
C	837	243,1
D	65	8,4
E	130	365,5
F	100	170,4
G	596	72,7
H	257	31,7
I	1.175	333,8
J	445	20,6
K	178	52,1
L	390	20,3
M	142	11,4
N	60	8,4
O	582	325,4
P	184	50,6
Q	284	1,5

(Fuente: Elaboración propia)

Diámetro de tuberías por tramo

La pérdida de carga (caída de presión) en una tubería queda expresada mediante la ecuación de D'Arcy-Weisbach (ec. 3.17)

$$H[m] = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{g} \left( \varphi \cdot \frac{L_{tub}}{D_{tub}} \right) \quad (3.17)$$

Donde,

H: caída de presión, expresada en [m] de columna de agua.

v: velocidad del flujo, expresada en [m/s].

g: aceleración de gravedad, igual a 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

$\varphi$ : Factor de fricción de la tubería, a dimensional.

L, D: Largo y diámetro de la tubería respectivamente, en [m].

La velocidad del flujo se puede obtener de la siguiente expresión,

$$v = \frac{\dot{V}}{A_{tub}} = \frac{4\dot{m}}{\rho_{agua}\pi D_{tub}^2} \quad (3.18)$$

Con  $\rho_{agua}$  la densidad del agua expresada en [kg/m<sup>3</sup>] (con un valor de 965,5 [kg/m<sup>3</sup>]<sup>26</sup>) y  $\dot{m}$  el caudal másico en [kg/s] (de tabla 3.32).

<sup>26</sup> Densidad del agua a 90° C.

El factor de fricción  $\varphi$  de la ecuación 3.17 se obtiene a partir de la ecuación de Swamee-Jain (ec. 3.19) o de la relación  $64/Re$  dependiendo si el flujo es turbulento o laminar<sup>27</sup> respectivamente,

$$\varphi = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log_{10} \left( \frac{k/D_{tub} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}}{3,7} \right)} \right)^2 \quad (3.19)$$

Donde

k: rugosidad de la tubería. En el caso del PEX y PP/FRP corresponde a 0,000007 [m]

Re: Número de Reynolds, a dimensional.

El número de Reynolds se calcula con,

$$Re = \frac{\rho v D_{tub}}{\mu} \quad (3.20)$$

Con  $\mu$  correspondiente a la viscosidad dinámica del agua equivalente a 0,000315 [kg/ms]<sup>28</sup>

La ecuación 3.17 se aplica siguiendo el criterio de diseño sugerido en la literatura técnica<sup>29</sup> para el diseño de redes de calefacción distrital. En este sentido, se considera que las pérdidas de presión están limitadas a 0,44 [psi] por cada 100 [ft] de cañería (equivalentes a 0,03 [bar] y 30,48[m] respectivamente). Luego, se utiliza la ecuación 3.17 con los diámetros comerciales de cañerías considerando un largo de tubería de 30,48[m], seleccionando aquellas cañerías que presenten una caída de presión más cercana<sup>30</sup> a 0,03[bar]. En el caso en que el diámetro comercial máximo de tuberías de PEX no cumpla el requisito, se utiliza el material siguiente, el PP/FRP<sup>31</sup>.

Es importante señalar el porqué de una selección adecuada de diámetros de tuberías:

- A mayor diámetro de tubería, menores pérdidas de carga, pero
- A mayor diámetro de tubería, mayores pérdidas de calor (mayor área de intercambio térmico), y
- A mayor diámetro de tubería, más costosa es la inversión (por transporte, materiales, instalación, tamaño de zanja, componentes y *fittings*, etc.)

<sup>27</sup> Si  $Re \leq 2.000$  se considera flujo laminar, de lo contrario es flujo turbulento.

<sup>28</sup> Viscosidad dinámica del agua a 90° C.

<sup>29</sup> Bohm, 1988.

<sup>30</sup> Aunque se pueda terminar seleccionando un diámetro de tubería que presente una caída de presión mayor a la propuesta. Puesto que los tamaños comerciales son acotados, se puede estar ligeramente por sobre el criterio con un diámetro determinado o muy por debajo con el diámetro inmediatamente mayor. Se tiene en consideración que el criterio nace de un análisis que involucra inversión, operación de bombeo y pérdidas de calor; agrupando la influencia de los tres factores se considera apropiada la utilización de la tubería más próxima al cumplimiento del criterio.

<sup>31</sup> Catálogo de empresa Fibra S.A. páginas 84 y 85, <http://www.fibra.cl/images/brochure/main.swf> (consultado el 10/05/2012).

Conocido el material y el diámetro interno de tubería, se obtiene el espesor de tubería de acuerdo a las normas con que fueron confeccionados los tubos. Las geometrías resultantes, así como las caídas de presión asociadas según la operación<sup>32</sup>, se aprecian en la tabla 3.33. Detalles en anexo E.

**Tabla 3.33: Geometría de tuberías por tramo y caídas de presión asociada según operación.**

Tramo	Material tubería	Diámetro interno [m]	Diámetro externo [m]	Espesor tubería [m]	Espesor FRP [m] (1)	Espesor total [m] (2)	Caída de presión diseño [psi/m]	Caída de presión a carga máx. [psi/m]
A	PP/FRP	0,4920	0,500	0,0040	0,01168	0,01568	0,0164	0,0189
B	PP/FRP	0,4420	0,450	0,0040	0,01168	0,01568	0,0108	0,0122
C	PP/FRP	0,3376	0,355	0,0087	0,00940	0,01810	0,0181	0,0118
D	PP/FRP	0,0974	0,110	0,0063	0,00635	0,01265	0,0149	0,0153
E	PP/FRP	0,4420	0,450	0,0040	0,01168	0,01568	0,0103	0,0117
F	PP/FRP	0,2996	0,315	0,0077	0,00838	0,01608	0,0167	0,0110
G	PP/FRP	0,2376	0,250	0,0062	0,00711	0,01331	0,0105	0,0124
H	PP/FRP	0,1902	0,200	0,0049	0,00711	0,01201	0,0067	0,0084
I	PP/FRP	0,3804	0,400	0,0098	0,01067	0,02047	0,0183	0,0098
J	PP/FRP	0,1476	0,160	0,0062	0,00483	0,01103	0,0103	0,0123
K	PP/FRP	0,1902	0,200	0,0049	0,00711	0,01201	0,0169	0,0199
L	PP/FRP	0,1476	0,160	0,0062	0,00483	0,01103	0,0101	0,0121
M	PP/FRP	0,1476	0,160	0,0062	0,00483	0,01103	0,0035	0,0048
N	PP/FRP	0,0974	0,110	0,0063	0,00635	0,01265	0,0151	0,0133
O	PP/FRP	0,3804	0,400	0,0098	0,01067	0,02047	0,0174	0,0094
P	PP/FRP	0,1902	0,200	0,0049	0,00711	0,01201	0,0160	0,0190
Q	PEX	0,0514	0,063	0,0058	-	0,00580	0,0142	0,0124

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Aplicable sólo a tuberías de PP/FRP. Catálogo de empresa Fibra S.A.
- (2) Considera espesor de *liner* y del FRP, en caso de tuberías de PP/FRP. En el caso del PEX es sólo el espesor de la tubería.

#### Espesor de aislante

El espesor óptimo del aislante de una cañería debe ser determinado a partir de un análisis del ciclo de vida de la cañería a aislar. El valor del ciclo de vida de un sistema consiste en el costo inicial de implementación y el valor presente del costo de pérdidas de calor en el horizonte de evaluación del proyecto. Cada tramo debe ser analizado por separado puesto que presentan distintas configuraciones.

El costo del ciclo de vida se expresa como sigue,

$$CCV = CC + \left( qt_u C_h \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (3.21)$$

Donde,

CCV: Costo del ciclo de vida, en [\$/m].

CC: Costo de capital de la inversión en aislación, en [\$/m].

q: Pérdida de calor anual promedio, en [kWh/hm].

<sup>32</sup> Caídas de presión en situación de operación normal y para carga máxima (agosto, 7:00 hrs.). Se debe notar en la tabla 3.33 que existen caídas de presión en situación de carga máxima menores a las caídas en circunstancias de operación típica. Lo anterior debido a que la función de pérdidas de carga es creciente-decreciente.

$t_u$ : Tiempo de utilización del sistema en un año, en [h].  
 $C_h$ : Costo de las pérdidas de calor del sistema, en [\$/kWh].  
*i*: Tasa de descuento del proyecto.  
*n*: Horizonte de evaluación del proyecto, cantidad de años.

De la fórmula 3.21 se observa que a menor  $q$ , menor costo del ciclo de vida. El valor de  $q$  se reduce a medida que aumenta el espesor del aislante. Se selecciona el espesor que permita obtener el menor CCV.

### *Supuestos para el cálculo de CCV*

La fórmula 3.21 requiere información que se debe determinar al momento de realizarse la evaluación económica (por ejemplo los valores de  $i$  y  $n$ ) o una vez terminado el estudio de mercado (costo del calor del sistema), es decir, una vez terminada la evaluación técnica. Es por esto que en estas instancias se adoptan supuestos para el cálculo del CCV, y son los siguientes:

- La tasa de descuento se asume igual a 10%.
- El horizonte de evaluación corresponde a 20 años.
- La red opera durante 8.760 horas al año<sup>33</sup>.
- El costo del calor será un 30% inferior al costo actual mediante calefactor a gas natural por debajo de la norma<sup>34</sup>, es decir  $0,7 \times 8,29$  [\$/kWh] = 5,803[\$/kWh].

### *Cálculo de pérdida de calor*

El valor de  $q$  (pérdida de calor) se obtiene mediante la siguiente ecuación,

$$q \left[ \frac{kWh}{hm} \right] = \frac{\Delta T}{R_t} \quad (3.22)$$

Con  $\Delta T$  el gradiente de temperatura (diferencia de temperatura entre el fluido transportado y la tierra, °C) y  $R_t$  la resistencia térmica de una pared circular, calculable según la expresión 3.23<sup>35</sup>,

$$R_t \left[ \frac{hm^\circ C}{kWh} \right] = \sum \frac{\ln(r_0/r_i)}{2\pi k_p} \quad (3.23)$$

En donde,

$r_0$ : Radio externo de la capa circular, en [m] (Figura 3.18).

$r_i$ : Radio interno de la capa circular, en [m] (Figura 3.18).

$k_p$ : Conductividad térmica de la capa circular, en [kWh/hm°C].

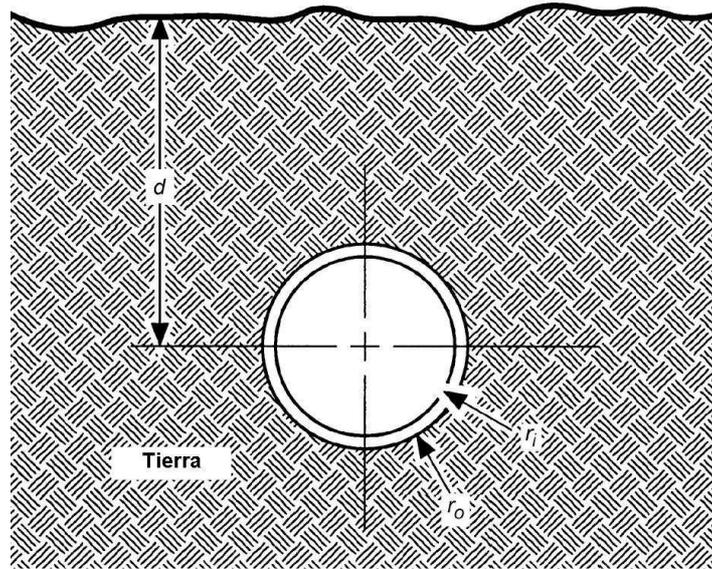
<sup>33</sup> Se asume que el calor debe ser conservado siempre, aun en periodos de baja o nula demanda. Lo anterior considerando y aprovechando la inercia térmica del agua de la red.

<sup>34</sup> Situación más representativa del costo de calefacción en la región. De tabla 3.2.

<sup>35</sup> Notar que en el argumento del logaritmo natural, al ser una división de radios, puede ser reemplazado indistintamente por una división de diámetros.

Se asume que la temperatura de la tierra corresponde a 5,65° C, equivalentes al promedio anual en la temperatura de suelo. La temperatura del fluido se asume igual a 90°, correspondiente al promedio de temperatura del fluido en la red (ver tabla 3.36).

La tierra actúa como una capa más de aislante dentro del conjunto, sobre todo considerando su inercia térmica. La resistencia térmica del suelo se obtiene a partir de las ecuaciones 3.24 y 3.25 según sea la profundidad (d en la figura 3.18) en que esté enterrada la cañería.



**Figura 3.18: Configuración de cañería enterrada**

(Fuente: ASHRAE, 2008)

$$R_s = \frac{\ln\left\{\left(\frac{d}{r_o}\right) + \sqrt{\left(\frac{d}{r_o}\right)^2 - 1}\right\}}{2\pi k_s} \quad \text{si } d/r_o > 2 \quad (3.24)$$

$$R_s = \frac{\ln\{2d/r_o\}}{2\pi k_s} \quad \text{si } d/r_o > 4 \quad (3.25)$$

Donde  $k_s$  corresponde a la conductividad térmica del suelo, según tabla 3.34.

**Tabla 3.34: Conductividades térmicas de suelos arenosos y arcillosos en función de la humedad.**

Contenido de humedad del suelo (% de masa)	Conductividad térmica [W/m°C]	
	Arenoso	Arcilloso
Bajo, 0%	0,3	0,25
Medio, 20%	1,8	1,18
Alto, 40%	2,2	1,58

(Fuente: Rosenberg, N.J., 1974.)

Al valor de la profundidad de la tubería, d, se le debe añadir un espesor efectivo producto de la resistencia convectiva de calor en la superficie del suelo. Se calcula mediante la

ecuación 3.26 (Coeficiente convectivo h a partir de ecuación 3.8. Se utiliza promedio anual de velocidad del viento, de tabla 3.8, equivalente a 17,3 [m/s]).

$$\delta[m] = \frac{k_s}{h} = \frac{k_s}{4,65 \cdot v_{viento}^{0,605}} = \frac{k_s}{4,65 \cdot 17,3^{0,605}} = \frac{1,8}{26,09} = 0,07[m] \quad (3.26)$$

El suelo se considera arenoso con humedad media (el lecho de la tubería requiere una cama de arena).

Las tuberías se entierran a 0,61[m] clave superior de la superficie (asemejando red de agua caliente a la de gas natural en Santiago<sup>36</sup>, con cañerías enterradas de polietileno de 10 [in] de diámetro).

Luego, se hace el análisis para los espesores comerciales obteniéndose la tabla 3.35. El análisis en detalle se encuentra en el anexo E.

**Tabla 3.35: Tuberías por tramo de red, espesor de aislante asociado y resistencia térmica total del conjunto<sup>37</sup>.**

Tramos	Material Tubería	φ interno tubería [m]	φ ext. Tubería [m]	φ ext. FRP [m]	Espesor Aislante [m]	φ ext. Aislante [m] (1)	φ ext. Barrera vapor [m] (2)	d [m]	d + Espesor efectivo (delta) [m]	Rt total [mh°C/kWh]
Q	PEX	0,0514	0,063	-	0,040	0,143	0,144	0,682	0,752	3406,3
D, N	PP/FRP	0,0974	0,110	0,123	0,040	0,203	0,204	0,712	0,782	2685,0
J, L, M	PP/FRP	0,1476	0,160	0,170	0,060	0,290	0,290	0,755	0,825	2517,2
H, K, P	PP/FRP	0,1902	0,200	0,214	0,050	0,314	0,315	0,768	0,838	1949,8
G	PP/FRP	0,2376	0,250	0,264	0,050	0,364	0,365	0,793	0,863	1644,6
F	PP/FRP	0,2996	0,315	0,332	0,060	0,452	0,453	0,836	0,906	1565,6
C	PP/FRP	0,3376	0,355	0,374	0,060	0,494	0,495	0,857	0,927	1442,9
I, O	PP/FRP	0,3804	0,400	0,421	0,060	0,541	0,542	0,881	0,951	1332,1
B, E	PP/FRP	0,4420	0,450	0,473	0,060	0,593	0,594	0,907	0,977	1193,4
A	PP/FRP	0,4920	0,500	0,523	0,060	0,643	0,644	0,932	1,002	1089,5

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Lana mineral, densidad de 92 [kg/m<sup>3</sup>].

(2) Carcasa de Zinicalum, 0,4 [mm] de espesor.

Vale la pena notar que en todos los casos conviene aislar la cañería, es decir, el ahorro en la inversión al no incorporar aislante no compensa el futuro mayor gasto en energía, en valor presente.

#### Temperaturas de salida de agua caliente por tramo

Puesto que a medida que el agua caliente fluye por la cañería disminuye su temperatura, disminuye el gradiente térmico y por lo tanto la tasa de pérdida de calor. Es por esto que no es posible utilizar de forma directa los valores de resistencia térmica de la tabla 3.35<sup>38</sup> para

<sup>36</sup> Con esto se internaliza los factores de tráfico y cargas en superficie.

<sup>37</sup> Considera resistencia térmica de la tubería, FRP si el caso aplica, aislante, barrera de vapor y masa de tierra circundante.

<sup>38</sup> Al momento de determinarse estos valores, se asumió un largo de tubería de 1 [m], situación que hace despreciable la variación de temperatura, entre el ingreso y la salida, del fluido.

determinar las pérdidas de calor en una tubería de un determinado largo. Se utiliza la expresión 3.27, que incorpora la variación de temperatura.

$$\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out}) = U_{tub} \cdot A_{tub} \cdot \frac{(T_{in} - T_{out})}{\ln\left(\frac{T_{in} - T_{tierra}}{T_{out} - T_{tierra}}\right)} \quad (3.27)$$

que despejando queda,

$$T_{out} = (T_{in} - T_{tierra}) \cdot e^{\left(\frac{-U_{tub} \cdot A_{tub}}{\dot{m} \cdot C_p}\right)} + T_{tierra} \quad (3.28)$$

En donde,

$$(U_{tub} \cdot A_{tub}) = \frac{L_{tramo}}{\sum \frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2\pi k_s}} = \frac{L_{tramo}}{R_t} \quad (3.29)$$

Hay que notar que en la ecuación 3.29 se desprecia la influencia de convección al interior de las tuberías. Las temperaturas de entrada y salida de cada tramo, en suministro y retorno, se detallan en la tabla 3.36<sup>39</sup>

**Tabla 3.36: Temperaturas en extremos de cada tramo de la red.**

Tramo	Largo [m]	Caudal de agua [kg/s]	Rt [mh°C/kWh]	Suministro		Retorno	
				Tin [°C]	Tout [°C]	Tin [°C]	Tout [°C]
A	3295	617,0	1089,54	95,00	94,90	83,66	83,57
B	494	373,9	1193,43	94,90	94,87	83,67	83,65
C	837	243,1	1442,91	94,90	94,85	83,66	83,61
D	65	8,4	2685,04	94,87	94,81	83,71	83,66
E	130	365,5	1193,43	94,87	94,87	83,67	83,66
F	100	170,4	1565,56	94,85	94,84	83,74	83,73
G	596	72,7	1644,56	94,85	94,74	83,46	83,37
H	257	31,7	1949,76	94,87	94,78	83,54	83,46
I	1175	333,8	1332,14	94,87	94,81	83,68	83,63
J	445	20,6	2517,15	94,74	94,56	83,46	83,30
K	178	52,1	1949,76	94,74	94,70	83,47	83,43
L	390	20,3	2517,15	94,78	94,62	83,52	83,38
M	142	11,4	2517,15	94,78	94,67	83,57	83,48
N	60	8,4	2685,04	94,81	94,75	83,65	83,60
O	582	325,4	1332,14	94,81	94,78	83,68	83,66
P	184	50,6	1949,76	94,70	94,66	83,56	83,53
Q	284	1,5	3406,31	94,70	93,52	82,42	81,41

(Fuente: Elaboración propia)

Se ve en la tabla 3.36 que la temperatura de entrada de un tramo de retorno conectado a un conjunto de consumo es igual a la temperatura de salida del tramo de suministro menos la temperatura perdida en el conjunto de consumo<sup>40</sup>, es decir,  $T_{in,retorno} = T_{out,suministro} - \Delta T_{vivienda} = T_{out,suministro} - 11,1^\circ C$ . Por otro lado, las temperaturas en un tramo de

<sup>39</sup> Notar, por ejemplo, que la temperatura de salida del tramo A es igual a la de entrada en el tramo B y C, según se configura la red en la figura 3.17.

<sup>40</sup> Notar que la caída de temperatura del fluido en una única vivienda es la misma que la de la totalidad del conjunto de consumo. Lo anterior dado que al haber viviendas homogéneas en los conjuntos, las demandas de calor (y por lo tanto los caudales de agua caliente necesarios) son los mismos. Luego el delta T del conjunto de consumo se puede igualar al de cada vivienda particular.

retorno convergente corresponden al promedio ponderado por caudal de agua de los tramos de retorno que lo alimentan.

Resulta importante considerar que de la planta el agua saldría a  $95^{\circ}\text{C}^{41}$ , para luego retornar a  $83,57^{\circ}\text{C}$ , por lo que el  $\Delta T$  total del sistema es de  $11,43^{\circ}\text{C}^{42}$ .

#### Pérdidas de calor por transmisión

A través de la ecuación 3.15 es posible establecer las pérdidas de calor en cada tramo de la red, conocidas las temperaturas de entrada y salida en cada uno, tanto para el suministro como el retorno del fluido. Se obtiene la tabla siguiente.

**Tabla 3.37: Pérdidas de calor por tramo de red.**

Tramo	Pérdidas de calor suministro [kWh/h]	Pérdidas de calor retorno [kWh/h]	Pérdidas totales [kWh/h]
A	270,06	235,79	505,85
B	36,94	32,29	69,23
C	51,75	45,24	96,99
D	2,16	1,89	4,05
E	9,72	8,50	18,22
F	5,70	4,99	10,68
G	32,31	28,18	60,49
H	11,75	10,26	22,02
I	78,67	68,80	147,47
J	15,73	13,74	29,47
K	8,13	7,10	15,23
L	13,80	12,05	25,85
M	5,02	4,39	9,42
N	1,99	1,74	3,73
O	38,95	34,09	73,03
P	8,40	7,35	15,75
Q	7,38	6,36	13,73
<b>Total</b>			<b>1121,22</b>

(Fuente: Elaboración propia)

Luego, las pérdidas totales<sup>43</sup> de calor en la red ascienden a 1.121 [kWh/h].

#### Potencia requerida en planta generadora de calor

La planta debe tener una capacidad de generación de calor suficiente para soportar la demanda máxima de calor de la totalidad de los suscriptores, al mismo tiempo que compensa las pérdidas de calor en la transmisión.

<sup>41</sup> La norma BS-2790 recomienda no operar calderas con temperaturas de salida y retorno inferiores a  $75$  y  $65^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Se cumple con lo anterior.

<sup>42</sup> La norma BS-2790 recomienda considerar una diferencia de temperatura entre suministro y retorno menor a  $25^{\circ}\text{C}$ . Con esto se evita la existencia de choques térmicos en la caldera. Se cumple con lo anterior.

<sup>43</sup> Hay que notar que por simplicidad y poca relevancia se están despreciando las pérdidas de calor en las conexiones a los suscriptores, es decir, las pérdidas entre la red principal y el intercambiador de calor de cada usuario.

Considerando lo anterior, se tiene que la potencia requerida en la central generadora de calor es de 31.822 [kWh/h] (sumando demanda máxima de apartado “Demanda máxima del sistema” con las pérdidas de calor de tabla 3.37). Se redondea el valor anterior a 32 [MW].

## Válvulas y bombas

Las válvulas y bombas resultan fundamentales para el control y movimiento del fluido transportador de calor respectivamente.

### Procedimiento de cálculo y selección

Puesto que las mismas válvulas representan pérdidas de carga en las tuberías, se deben seleccionar éstas en un primer lugar. Luego, es posible proceder a la selección de las bombas. Se detalla el procedimiento en la siguiente lista ordenada.

1. Determinación de tipo, tamaño y posición de válvulas principales de la red.
2. Determinar emplazamientos de bombas y su configuración (redundancia, disposición, etc.).
3. Determinar caudales de agua a proveer por cada bomba (comenzar procedimiento desde nodos finales, según la figura 3.17)
4. Conocido el lugar de emplazamiento de la bomba, determinar diferencia de cota con punto más elevado de provisión.
5. Determinar pérdidas de carga regular y singular (incluir válvulas). Incluir altura topográfica.
6. Seleccionar bomba en catálogo comercial.

## Válvulas

Un sistema de calefacción distrital requiere básicamente válvulas que cumplan las funciones de aislación de tramos y control de flujo. En el caso de las válvulas de aislación se considera su uso para potenciales vaciamientos de tuberías, aislación de sectores frente a fallas o corte momentáneo del servicio por parte de un suscriptor. Las válvulas de control de flujo, permiten asegurar el no retorno del fluido frente a fallas en el sistema de bombeo. Se asume que al implementarse la red con bombas de velocidad variable, el control de caudal es realizado por la bomba, siendo prescindible para el estudio la incorporación de válvulas para la regulación del caudal de flujo.

Si bien un sistema hidráulico complejo como el de una red de calefacción distrital requiere la incorporación de un sin número de otros componentes de control de la red, su consideración se escapa a los alcances de un estudio de ingeniería básica. Es por esto que sólo se considera la implementación de válvulas de contraflujo y de corte en esta instancia del estudio.

### Válvulas de contraflujo o *check*

Las válvulas de contraflujo, *check* o también denominadas unidireccionales tienen como finalidad evitar la devolución del flujo en sentido contrario al positivo de circulación. Estas

válvulas están siempre abiertas en la dirección del flujo. En casos de existir contraflujo la válvula se cierra de manera automática.

#### Válvulas de corte

En el caso de las válvulas de corte se asume<sup>44</sup> que el tipo de válvula más apropiado para un sistema de calefacción distrital es la válvula de compuerta. Estas válvulas son de bajo costo, alta capacidad y hermeticidad, poca resistencia a la circulación, etc. La principal desventaja de estas válvulas es su escasa capacidad de control de flujo, caso que es de poco interés en la presente evaluación.

#### Disposición de válvulas y caídas de presión asociadas

Similar a como ocurre en la implementación de poliductos para combustibles, la instalación de válvulas de corte debe ser de tal forma de poder aislar a los tramos de red. Con lo anterior es posible contar con una instalación factible de ser controlada y que permite una aislación adecuada de tramos frente a contingencias o necesidad de reparaciones. Se disponen válvulas de corte en todos los nodos de la red, tanto en suministro como en retorno.

En el caso de las válvulas *check*, su principal interés es evitar el contraflujo que eventualmente pudiera dañar a las bombas, por lo que se incorporan estas válvulas inmediatamente aguas abajo de éstas.

Las caídas de presión asociadas a las válvulas, expresadas en metros de columna de agua, se obtienen de acuerdo a la siguiente expresión (3.30).

$$h_{válvula}[m] = \frac{2}{g} \frac{\dot{m}}{\pi \cdot D_{válvula}^2} \rho_{fluido} \cdot k_{válvula} = \frac{v^2}{2g} k_{válvula} \quad (3.30)$$

Donde  $k_{válvula}$  corresponde al coeficiente de pérdida de carga singular<sup>45</sup> correspondiente a 0,2 para una válvula de compuerta y de 2 para una válvula *check* completamente abiertas. Con lo anterior se obtienen las siguientes relaciones:

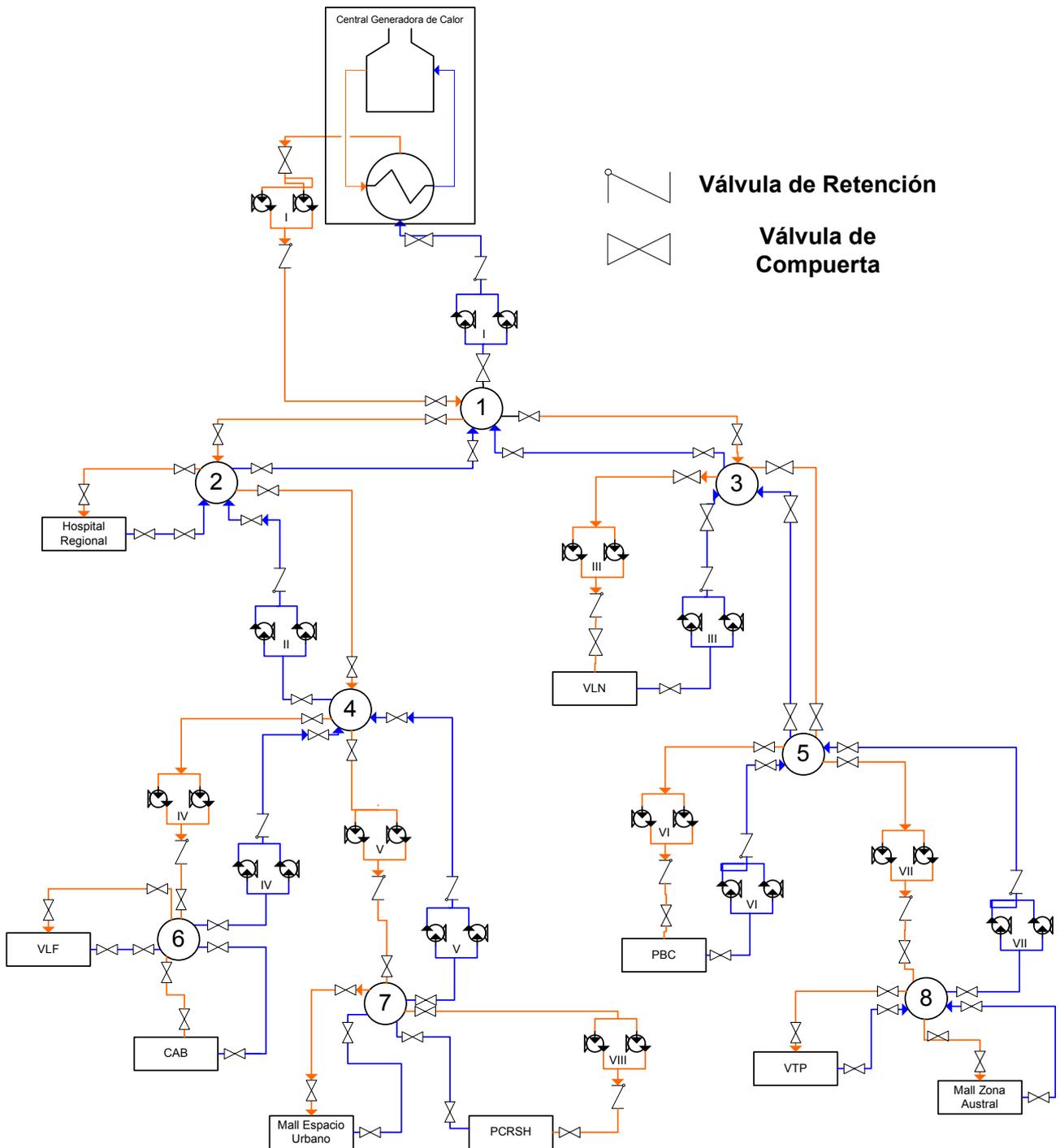
$$h_{compuerta}[m] = 0,0102 \cdot v^2 \quad (3.31)$$

$$h_{check}[m] = 0,102 \cdot v^2 \quad (3.32)$$

La disposición de las válvulas y bombas se observa en la figura siguiente. Se debe notar que la numeración de los nodos es igual a la propuesta en la figura 3.17. Conjuntos de bombas denominados según numeración romana.

<sup>44</sup> Asimilando por extensión y disposición a la red de calefacción distrital con un oleoducto subterráneo de transporte de combustibles líquidos. En el caso de los oleoductos las válvulas de corte por excelencia son las de compuerta.

<sup>45</sup> Se determina en forma empírica. Valores conocidos de tablas.



**Figura 3.19: Diagrama esquemático de *piping* de red de calefacción distrital.**  
(Fuente: Elaboración propia)

### Bombas

Las bombas permiten la circulación del fluido, y por lo tanto, el transporte del calor. El criterio de instalación de conjuntos de bombas (como se aprecia en la figura 3.19) es

básicamente que cada conjunto de consumo significativo cuente con su propio conjunto de bombeo. Con esto se asegura la autonomía de los sectores, al mismo tiempo que se obtiene redundancia en los sistemas de operación, aumentando la confiabilidad del sistema.

Para su operación se considera la instalación de bombas en paralelo en cada punto. Se seleccionarán las bombas considerando que con un único equipo en operación por punto es posible la circulación del agua de red. Dado lo anterior, opera una bomba y otra se encuentra en *stand by* aumentando así el porcentaje de disponibilidad del sistema. Si la mayor bomba del catálogo no es capaz de operar por si sola en un tramo, se considera la instalación de una bomba adicional en paralelo, es decir, una en *stand by* y las otras dos operando. Se repite el criterio hasta que es posible satisfacer las condiciones de operación.

Para la selección de los equipos se deben considerar los siguientes apartados.

#### Presión de operación por tramo

La recomendación para la operación de sistemas de agua caliente es que éstos operen con una presión de trabajo equivalente a la presión de saturación del agua a una temperatura de 17° C por sobre la temperatura del agua caliente transportada, es decir,

$$P_{trabajo} = P_{saturación}(T_{agua} + 17^{\circ}\text{C}) \quad (3.33)$$

Luego, las presiones de trabajo requeridas en cada tramo de la red se detallan en la tabla siguiente, considerando como peor caso la temperatura máxima que presenta el agua en dicho tramo.

Los tramos deberán presentar una presión superior a la detallada en la tabla 3.38 en toda ocasión a fin de evitar el cambio de fase.

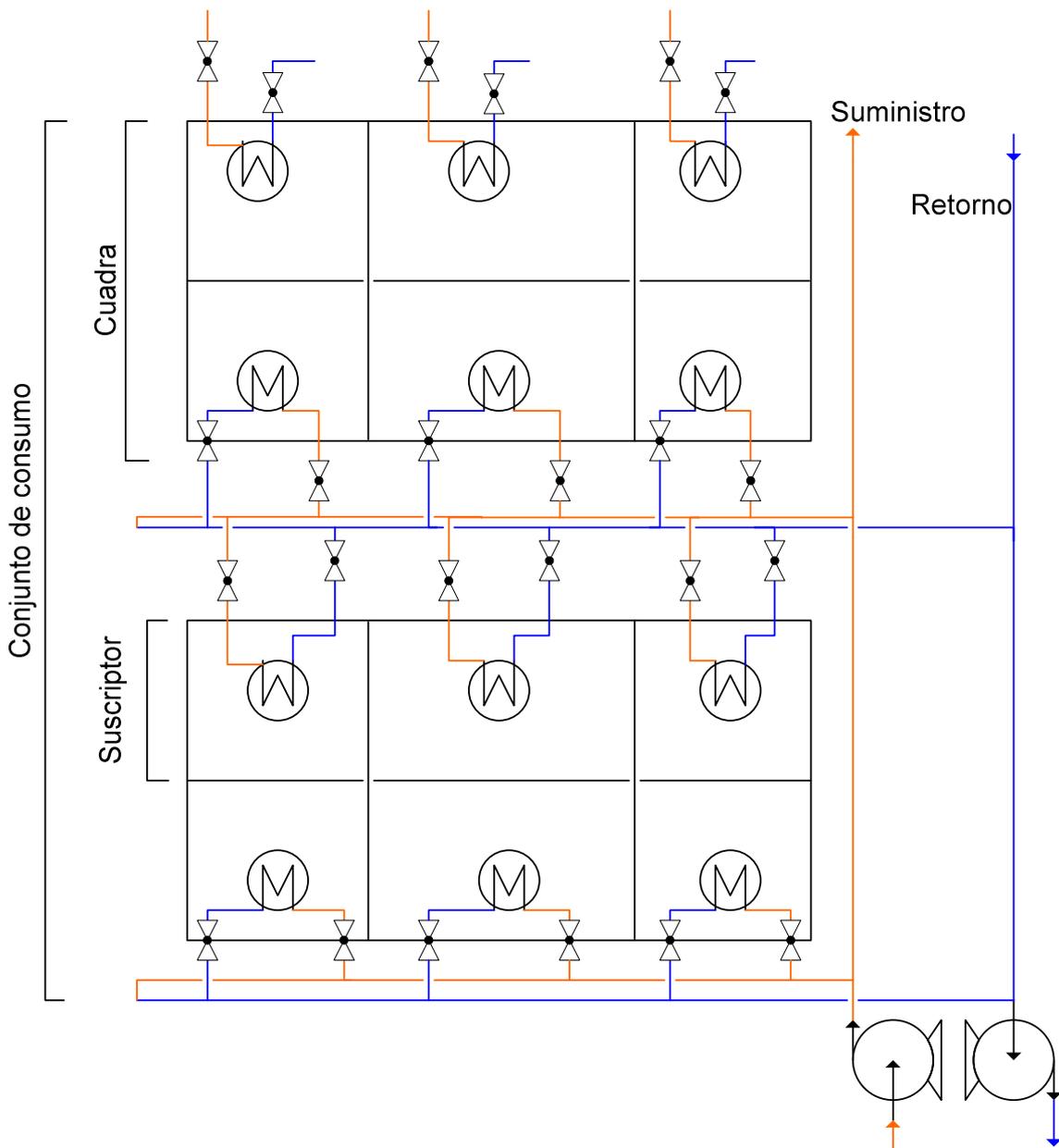
**Tabla 3.38: Presiones de trabajo requeridas en tuberías de agua caliente.**

Tramo		T máx. [°C]	Presión de trabajo [bar]	Presión de trabajo [m.c.a.]
A	Suministro	95,00	1,532	15,62
	Retorno	83,66	1,038	10,58
B	Suministro	94,90	1,527	15,57
	Retorno	83,67	1,038	10,58
C	Suministro	94,90	1,527	15,57
	Retorno	83,66	1,038	10,58
D	Suministro	94,87	1,526	15,56
	Retorno	83,71	1,040	10,61
E	Suministro	94,87	1,526	15,56
	Retorno	83,67	1,038	10,58
F	Suministro	94,85	1,525	15,55
	Retorno	83,74	1,041	10,62
G	Suministro	94,85	1,525	15,55
	Retorno	83,46	1,030	10,50
H	Suministro	94,87	1,526	15,56
	Retorno	83,54	1,033	10,53
I	Suministro	94,87	1,526	15,56
	Retorno	83,68	1,039	10,60
J	Suministro	94,74	1,519	15,49
	Retorno	83,46	1,030	10,50
K	Suministro	94,74	1,519	15,49
	Retorno	83,47	1,031	10,51
L	Suministro	94,78	1,521	15,51
	Retorno	83,52	1,033	10,53
M	Suministro	94,78	1,521	15,51
	Retorno	83,57	1,034	10,54
N	Suministro	94,81	1,523	15,53
	Retorno	83,65	1,037	10,57
O	Suministro	94,81	1,523	15,53
	Retorno	83,68	1,039	10,60
P	Suministro	94,70	1,517	15,47
	Retorno	83,56	1,034	10,54
Q	Suministro	94,70	1,517	15,47
	Retorno	82,42	0,993	10,13

(Fuente: Elaboración propia)

#### Pérdidas de carga en conexiones a suscriptores

Las conexiones de la red a las viviendas presentan pérdidas de carga. La imagen siguiente muestra una simplificación de los componentes más significativos en la pérdida de carga de la red al interior del conjunto de consumo.



**Figura 3.20: Esquema del sistema de conexiones de los suscriptores.**

(Fuente: Elaboración propia)

De la figura 3.20 se desprende que los conjuntos de consumo se subdividen en cuadras, las que a su vez contienen a los suscriptores, siendo estos últimos los acreedores de cada conexión a la red de calor. Se observa que en una cuadra, los suscriptores están conectados en paralelo con la línea de alimentación de dicha cuadra. Así mismo, las cuadras se encuentran conectadas en paralelo con la red de distribución principal del conjunto de consumo. Las curvas en 180° permiten el retorno del fluido en caso de que no se utilice la totalidad del agua caliente y ésta deba ser retornada.

La conexión de cada suscriptor presenta caídas de presión en serie, según se puede observar en la figura 3.20 y la expresión 3.34.

$$R_{sus} = 2 \cdot R_{te} + R_{Intercambiador} + 2 \cdot R_{valvula\_bola} + R_{conexión} \quad (3.34)$$

En donde  $R_{sus}$  es la “resistencia” total del suscriptor,  $R_{te}$  la pérdida de carga de la te de *fitting* de conexión (se requieren 2, una para conexión de suministro y una para conexión de retorno),  $R_{Intercambiador}$  la pérdida asociada al intercambiador de calor del suscriptor,  $R_{valvula\_bola}$  la pérdida de carga por válvulas de bola abiertas (se requieren dos unidades) y  $R_{conexión}$  correspondiente a la pérdida de carga por la longitud del piping de la conexión. Se debe hacer notar que al estar todos los suscriptores en paralelo y presentar todos la misma resistencia (dentro de un mismo conjunto de consumo), los caudales de agua serán iguales y por lo tanto la provisión de calor será uniforme. En caso de que los suscriptores quieran modificar su conexión a la red, deberán implementarse válvulas de equilibrado del sistema a fin de no afectar el suministro de los demás suscriptores.

Aplicando la expresión 3.34 a los distintos tipos de suscriptores es posible obtener la pérdida de carga de su conexión a la red, como muestra la tabla 3.39.

**Tabla 3.39: Pérdidas de carga por conexión a los distintos tipos de suscriptores.**

Tipología de suscriptor	Caudal primario típico a suscriptor [kg/s] (1)	Caudal primario máximo a suscriptor [kg/s] (2)	Diámetro interno de conexión a suscriptor [m] (3)	Velocidad de caudal máximo de suministro [m/s]	Pérdidas regulares para caudal máximo [m.c.a./m]	Pérdidas en te [m.c.a.] (4)	Pérdida carga válvulas de bola [m.c.a.] (5)	Pérdida de carga intercambiador de calor [m.c.a.] (6)	Caida total de presión de la conexión [m.c.a.] (7)
Tipo	0,21	0,22	0,0262	0,43	0,008	0,030	0,0009	4,2	4,3
Mejorada	0,20	0,21	0,0262	0,41	0,008	0,028	0,0009	4,0	4,1
EE	0,12	0,14	0,0204	0,44	0,012	0,043	0,0010	1,7	1,8
Hospital	8,36	8,36	0,0974	1,16	0,011	0,038	0,0069	7,7	7,8
MEU	8,41	7,75	0,0974	1,08	0,009	0,033	0,0059	10,6	10,7
MZA	1,49	1,36	0,0514	0,68	0,009	0,031	0,0024	9,3	9,3

(Fuente: elaboración propia)

- (1) Utilizado para determinar el diámetro de la cañería de conexión del suscriptor (en el caso de viviendas).
- (2) Utilizado para la estimación de las pérdidas de carga en la conexión puesto que es el peor caso.
- (3) Calculado siguiendo la misma metodología propuesta para los tramos de la red principal (recomendación de ASHRAE). Los materiales seleccionados corresponden a PEX.
- (4) La pérdida en las te de diámetro interno de 25[mm] (asumido como promedio) equivalen a las pérdidas de 1,77 [m] de la cañería en línea recta.
- (5)  $K = 0,05$ . Se utiliza velocidad de flujo en demanda máxima (para ecuación 3.30)
- (6) Pérdidas obtenidas mediante el software de selección de intercambiadores provisto por la empresa manufacturera de intercambiadores “Cipriani Scambiatori” (Italia). Software disponible en sitio web del distribuidor para Chile, Anwo. <http://www.anwo.cl> (consultado el 01/06/12).
- (7) Aplicación de expresión 3.34 y considerando que la cañería de la conexión tiene un largo de 5[m].

Como se observa en la figura 3.20 los suscriptores de una misma cuadra están conectados en paralelo, por lo que la pérdida de carga de una cuadra se obtiene mediante la siguiente expresión<sup>46</sup>,

<sup>46</sup> Notar que en la expresión 3.35 se desprecia la pérdida de carga del codo de retorno de la línea en 180° (necesario en caso de que no todos los consumos se encuentren operando). Por otro lado, y a diferencia de la

$$\left(\frac{1}{R_{cuad}}\right)^{1/2} = \sum_{i=1}^{n_{sus}} \left(\frac{1}{R_{sus}}\right)^{1/2} = n_{sus} \left(\frac{1}{R_{sus}}\right)^{1/2} \rightarrow R_{cuad} = \frac{R_{sus}}{n_{sus}^2} \quad (3.35)$$

En donde  $n_{sus}$  es la cantidad de suscriptores de la cuadra<sup>47</sup>. Todas las pérdidas de carga se expresan en [m.c.a.].

De manera análoga, y considerando que las cuadras están conectadas a la red principal en paralelo (figura 3.20), se obtiene la siguiente expresión para la pérdida de carga total del conjunto de consumo,

$$R_{Conj.Cons} = \frac{R_{cuad}}{n_{cuad}^2} \quad (3.36)$$

En donde  $n_{cuad}$  corresponde a la cantidad de cuadras existentes en el conjunto de consumo.

Combinando la expresión 3.35 con la expresión 3.36 es posible estimar la pérdida de carga de la red en un conjunto de consumo, expresión 3.37.

$$R_{Conj.Cons} = \frac{R_{sus}}{n_{sus}^2 \cdot n_{cuad}^2} \quad (3.37)$$

Se debe hacer la distinción en dos casos. El primero, con los valores de suscriptores y cuadras reales de cada conjunto de consumo (lo que determinará la pérdida de carga real de operación del sistema). El segundo caso es asumiendo que existe un único suscriptor operando en una sola cuadra de todo el conjunto de consumo, que es el caso de mayor pérdida de carga (se maximiza la expresión 3.37). Con las expresiones anteriores, mas la información de los conjuntos de consumo disponibles en el anexo B, se obtiene la tabla 3.40 en donde se detallan las pérdidas de carga por conjunto de consumo.

---

analogía electro-hidráulica, en el caso de las pérdidas de carga en paralelo éstas deben ser iguales en las ramas, no así los caudales que pueden eventualmente diferir. De la igualación en la caída de presión es de donde aparecen las raíces de la expresión.

<sup>47</sup> Se debe notar que no se está considerando la disminución progresiva de caudal de la red de suministro a medida que se van satisfaciendo a los suscriptores, por lo que las pérdidas de carga se asumen iguales para todos los suscriptores de una misma tipología, independiente de su posición con respecto a la red principal de agua caliente. Similarmente, la línea de retorno ve un aumento progresivo de su caudal a medida que se acerca a la red principal. La idea de diseñar las redes de distribución sin disminuciones y aumentos progresivos de diámetros radica en el hecho de que se debe poder cubrir el caso en que ningún suscriptor este consumiendo calor, en tal caso, el caudal se mantiene constante a lo largo de toda la red de distribución del conjunto de consumo.

**Tabla 3.40: Pérdidas de carga en conjuntos de consumo.**

Conjunto de Consumo	Número de suscriptores	Número de cuadras o sectores n_cuad (1)	[(Suscriptores * Factor Simultaneidad) / Cuadras], n_sus (2)	Pérdida de carga máxima de suscriptor, R_sus [m.c.a.]	Pérdida de carga de cuadra en operación, R_cuad [m.c.a.]	Pérdida de carga de conjunto de consumo en operación, R_Conj.Con s [m.c.a.]	Pérdida de carga máxima en cuadra [m.c.a.]	Pérdida de carga máxima en conjunto de consumo [m.c.a.]
Villa las Nieves	754	23	26	4,1	0,006	0,00001	4,1	4,1
Villa los Flamencos	90	5	14	4,1	0,020	0,00080	4,1	4,1
Condominio A del Bosque	81	5	13	1,8	0,011	0,00045	1,8	1,8
Villa Torres del Paine	224	9	20	4,1	0,010	0,00013	4,1	4,1
Población Bahía Catalina	91	5	14	4,1	0,020	0,00078	4,1	4,1
Villa Cardenal Raúl S. H.	1374	19	57	4,3	0,001	0,00000	4,3	4,3
Hospital Regional	1	1	1	7,8	7,841	7,84068	7,8	7,8
Mall Espacio Urbano	1	1	1	10,7	10,701	10,70083	10,7	10,7
Mall Zona Austral	1	1	1	9,3	9,349	9,34867	9,3	9,3

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Se consideran solo cuadras habitadas. "Sectores" para el caso de la VCRSH, en donde grupos de cuadras se agrupan en sectores (ver anexo B).
- (2) Factor de simultaneidad igual al utilizado para el diseño de la red principal. Valor 0,79. Se ponderan demandas de consumos residenciales solamente.

#### Presión estática

Se debe considerar la diferencia de cotas de altura entre el emplazamiento de las bombas y el consumo (suscriptor) a mayor altura. La bomba deberá ser capaz de levantar la presión de la red de tal forma de atender a ese consumo.

**Tabla 3.41: Cotas de nivel para el servicio de bombas.**

Conjunto de bombas		Ubicación conjunto de bombas	Cota de conjunto de bombas [m.s.n.m] (1)	Cota superior de punto a satisfacer [m.s.n.m] (2)	Diferencia de cotas [m]
I	Suministro	Central	43	46	3
	Retorno	Nodo 1	8	46	38
II	Retorno	Nodo 4	30	30	0
III	Suministro	Nodo 3	7	10	3
	Retorno	Nodo 3	7	8	1
IV	Suministro	Nodo 4	30	30	0
	Retorno	Nodo 6	18	30	12
V	Suministro	Nodo 4	30	40	10
	Retorno	Nodo 7	30	40	10
VI	Suministro	Nodo 5	7	7	0
	Retorno	Nodo 5	7	7	0
VII	Suministro	Nodo 5	7	9	2
	Retorno	Nodo 8	8	8	0
VIII	Suministro	Nodo 7	30	49	19

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Según cotas informadas por *software* Google Earth. M.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar.
- (2) Punto de mayor altura dentro del rango de servicio de la bomba. Se deberá presurizar la red de tal forma de poder suministrar calor a ese punto sin añadir bombas adicionales a las del conjunto.

#### Condiciones de operación y selección de bombas

**Tabla 3.42: Resumen condiciones de operación de los conjuntos de bombas.**

Conjunto de bombas		Presión de trabajo [m]	Presión estática [m]	Pérdidas de carga [m]	Presión de servicio [m.c.a.] (1)	Presión de succión [m.c.a.] (2)	Levantamiento de presión [m.c.a.] (3)	Caudal [m <sup>3</sup> /h]
I	Suministro	15,62	3	56,0	74,58	15,62	58,95	2301,5
	Retorno	10,58	38	43,8	92,36	10,58	81,77	2301,5
II	Retorno	10,58	0	5,3	15,91	10,58	5,32	1363,4
III	Suministro	15,55	3	4,8	23,38	15,55	7,83	635,8
	Retorno	10,62	1	7,7	19,35	10,62	8,74	635,8
IV	Suministro	15,51	0	12,2	27,70	15,51	12,19	118,4
	Retorno	10,54	12	1,5	24,06	10,54	13,52	118,4
V	Suministro	15,56	10	19,9	45,49	15,56	29,92	1245,0
	Retorno	10,60	10	8,1	28,70	10,60	18,10	1245,0
VI	Suministro	15,49	0	7,9	23,39	15,49	7,90	76,7
	Retorno	10,58	0	16,0	26,61	10,58	16,03	76,7
VII	Suministro	15,47	2	16,8	34,26	15,47	18,79	194,4
	Retorno	10,51	0	14,7	25,18	10,51	14,67	194,4
VIII	Suministro	15,53	19	12,0	46,55	15,53	31,02	1213,7

(Fuente: elaboración propia)

- (1) Equivalente a la sumatoria de la presión de trabajo requerida, presión estática y las pérdidas de carga.
- (2) La descarga de la bomba aguas arriba es tal que satisface la presión de trabajo en el punto de succión de la bomba aguas abajo, una vez superadas todas las pérdidas de carga en el tramo que las separa.
- (3) Correspondiente a la presión de servicio a satisfacer menos la presión de succión, es decir, el levantamiento de presión que efectivamente produce la bomba.

Conocidos las condiciones operacionales de las bombas de la red de calor se procede a su selección en catálogos comerciales. Se utiliza el catálogo de la marca Vogt, la cual al ser de origen nacional debería contar con respaldo rápido.

**Tabla 3.43: Selección de bombas de red distrital.**

Conjunto de bombas	Operación		Marca	Serie	Modelo	Unidades en operación	Unidades instaladas	Rend. según cond. De operación	NPSH requerido [m.c.a.]	
	Caudal [m3/h]	Levantamiento de presión [m.c.a.]								
I	Suministro	2301,5	58,95	Vogt	2900 [RPM]	N 660	5	6	69%	11
	Retorno	2301,5	81,77	Vogt	2900 [RPM]	N 660	5	6	77%	5
II	Retorno	1363,4	5,32	Vogt	1450 [RPM]	N 690	2	3	85%	11
III	Suministro	635,8	7,83	Vogt	1450 [RPM]	N 690	1	2	84%	9,5
	Retorno	635,8	8,74	Vogt	1450 [RPM]	N 690	1	2	85%	9,5
IV	Suministro	118,4	12,19	Vogt	1450 [RPM]	N 645	1	2	80%	3,5
	Retorno	118,4	13,52	Vogt	1450 [RPM]	N 645	1	2	79%	3,5
V	Suministro	1245,0	29,92	Vogt	1450 [RPM]	N 670	2	3	72%	9
	Retorno	1245,0	18,10	Vogt	1450 [RPM]	N 670	2	3	60%	9
VI	Suministro	76,7	7,90	Vogt	1450 [RPM]	N 635	1	2	70%	4,5
	Retorno	76,7	16,03	Vogt	1450 [RPM]	N 635	1	2	78%	4,5
VII	Suministro	194,4	18,79	Vogt	1450 [RPM]	N 660	1	2	75%	3
	Retorno	194,4	14,67	Vogt	1450 [RPM]	N 650	1	2	70%	9
VIII	Suministro	1213,7	31,02	Vogt	1450 [RPM]	N 670	2	3	75%	9

(Fuente: Elaboración propia)

## Otros componentes a considerar

### Cámara de expansión del sistema

Puesto que el agua de la red varía su temperatura dependiendo de las condiciones (operación o no del servicio, hora del día, tasa de carga de suscriptores, época del año, etc.) varía también el volumen del agua contenida en la red. Estas variaciones de volumen pueden repercutir en roturas de cañerías o desperfectos en equipos por lo que deben ser paleadas.

Para lo anterior los sistemas de agua caliente son equipados con vasos de expansión, los cuales tienen la labor de absorber las variaciones de volumen sin desmedro de la presurización de la red al mismo tiempo que evitan el ingreso de aire. Se recomiendan para tales motivos cámaras de expansión de diafragma.

El volumen requerido para la cámara de expansión de un sistema de agua caliente se obtiene mediante la siguiente expresión<sup>48</sup>.

$$V_C = V_{sistema} \frac{[(v_2/v_1)-1]-3\alpha\Delta T}{1-(P_1/P_2)} \quad (3.38)$$

Donde:

<sup>48</sup> ASHRAE, 12.5.

$V_C$ : Volumen de diseño de cámara de expansión, en  $[m^3]$ .

$V_{sistema}$ : Volumen de agua contenido en el sistema, en  $[m^3]$ .

$v_i$ : Volumen específico del agua a la mínima y máxima temperatura (1 y 2 respectivamente), en  $[m^3/kg]$ .

$P_i$ : Presión a la mínima y máxima temperatura (1 y 2 respectivamente), en [m.c.a.].

$\alpha$ : Coeficiente lineal de expansión térmica, en  $[m/m^\circ C]$ . Para el polipropileno tiene un valor promedio de  $0,00014 [m/m^\circ C]$ <sup>49</sup>.

$\Delta T$ : Diferencia entre temperatura máxima y mínima en el sistema de agua caliente, en  $[^\circ C]$ . Tiene un valor de  $11,43^\circ C$ .

$V_{sistema}$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V_{sistema} = 2 \cdot \sum_{i=A}^Q \left( \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot L_i \right) \quad (3.39)$$

Donde  $D_i$  corresponde al diámetro interno de la tubería del tramo  $i$  y  $L_i$  es el largo del tramo  $i$ . Todo lo anterior en  $[m]$ . El factor 2 se explica al considerar la red de suministro y retorno.

Considerando las tablas 3.32 y 3.33 junto con la expresión 3.39, el valor de  $V_{sistema}$  es de  $2.132 [m^3]$ <sup>50</sup>.

De la tabla 3.36 se obtiene que la temperatura máxima del sistema es de  $95^\circ C$  (suministro de central generadora de calor), mientras que la mínima corresponde a  $83,57^\circ C$  (retorno a central generadora de calor). Con los valores anteriores se obtienen los volúmenes específicos del agua, correspondientes a  $0,00103963$  y  $0,00103145 [m^3/kg]$  para  $95$  y  $83,57^\circ C$  de temperatura respectivamente.

Las presiones a máxima y mínima temperatura se asumen iguales a las presiones de trabajo según la tabla 3.38. Toman valores de  $15,62 [m.c.a.]$  a  $95^\circ C$  y  $10,58 [m.c.a.]$  a  $83,57^\circ C$ .

Con todo lo anterior en la expresión 3.38, el volumen requerido para la cámara de expansión del sistema es de  $20,7 [m^3]$ . Se redondea el valor anterior, para mayor seguridad, a  $21 [m^3]$ .

## Elementos de red

Los siguientes elementos de la red deberán ser considerados, diseñados y dimensionados en estudios más detallados:

- Sistemas de detección de fugas (cables detectores de fugas).
- Entradas de inspección de red.
- Cámaras de válvulas y bombas.
- Variadores de frecuencia en motores (considerando que la red es de temperatura constante y caudal variable).

<sup>49</sup> <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html> (Consultado el 13/06/12). Se utiliza valor del polipropileno al ser el material predominante en la red.

<sup>50</sup> Se desprecia volumen de agua contenido entre la red principal y el intercambiador de calor de cada consumidor.

- Incorporación de anticongelante al agua de red.
- Juntas y mecanismos de expansión por dilatación en la red.

### 3.4.2. Dimensionamiento de central generadora de calor

Tal como se detalla en el apartado "Potencia requerida en planta generadora de calor" la potencia requerida en la central generadora de calor asciende a 32 [MW]. Esta potencia permite cubrir el consumo de máxima demanda de los conjuntos de consumo seleccionados, al mismo tiempo que suple las pérdidas de calor en la red de distribución.

Por disposición del plano regulador de la ciudad de Punta Arenas, cualquier actividad industrial pesada, como lo es una planta generadora de calor de 32[MW], debe emplazarse en el sector denominado H. Por lo tanto, se considera que todas las opciones deben estar ubicadas en el sector industrial de la ciudad. (Apartado 3.2.3). El sector cuenta con acceso a la distribución de gas natural.

La potencia anterior es factible de generar según los métodos que se detallan a continuación y que serán considerados como escenarios para la evaluación.

#### Recuperación de calor en gases de escape central Tres Puentes

Según se puede observar en la tabla 2.13 el 95% de la capacidad instalada de generación de la ciudad de Punta Arenas se encuentra en la central Tres Puentes (5% restante en central Punta Arenas<sup>51</sup>), por lo que es la central escogida para el análisis.

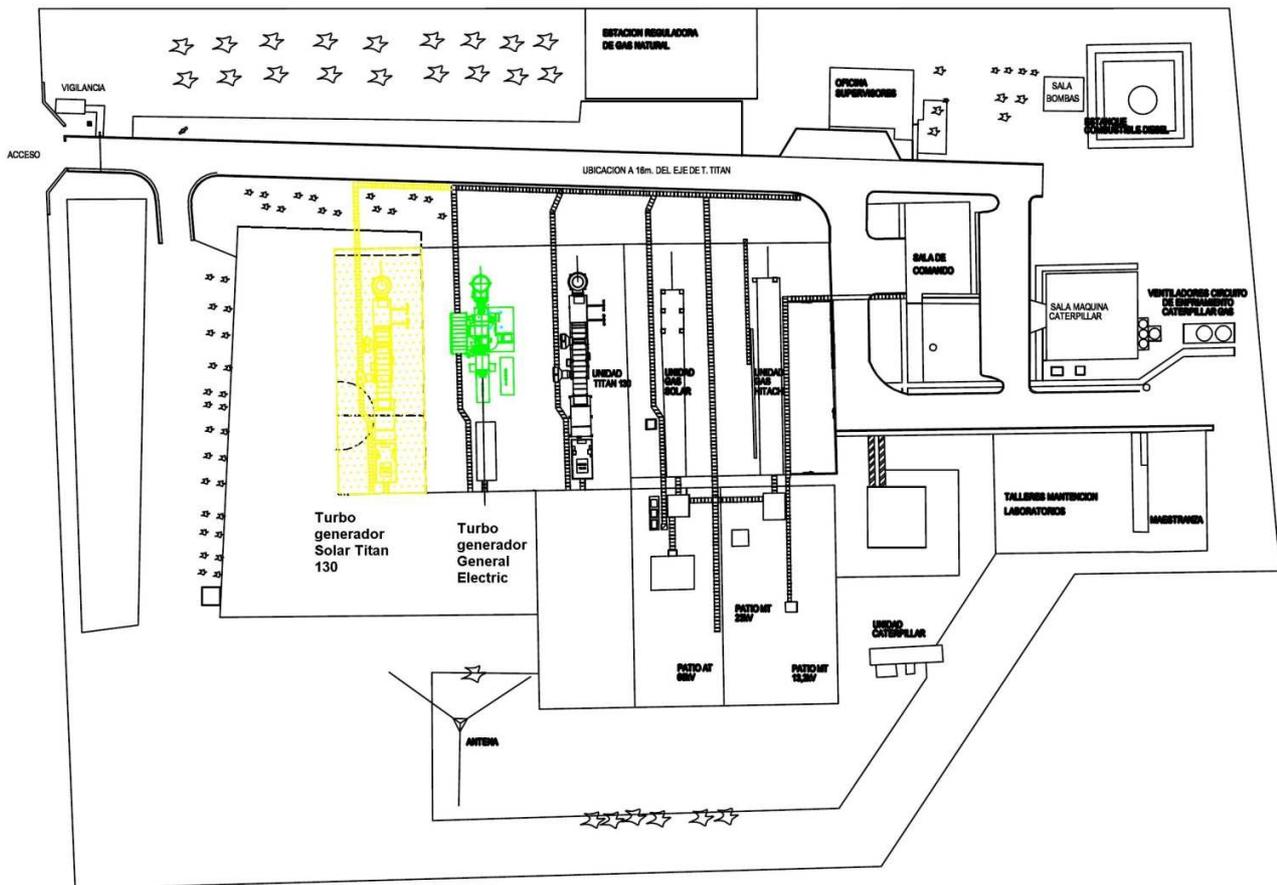


**Figura 3.21: Central Tres Puentes, propiedad de Edelmag S.A.**  
(Fuente: Elaboración propia)

<sup>51</sup> Central Punta Arenas emplazada en Av. Croacia 444, esquina Av. España.

El grueso de la generación eléctrica en Tres Puentes es mediante el uso de turbinas a gas. Las turbinas son máquinas térmicas rotatorias que operan según un ciclo de gas Brayton. La operación de estas máquinas requiere el suministro de gas natural a alta presión, el que es combustionado con excesos de aire del orden de un 200%. El aire es comprimido a la presión de suministro de gas natural mediante compresores de flujo axial o radial solidarios a la flecha de la turbina. La expansión de los gases de combustión en los álabes de la turbina genera trabajo mecánico en la flecha que acciona al generador eléctrico. Los gases son expulsados a la atmósfera a una temperatura promedio de 500° C a través de chimeneas equipadas con silenciador.

La figura 3.22 muestra la disposición de las instalaciones y equipos en la central.

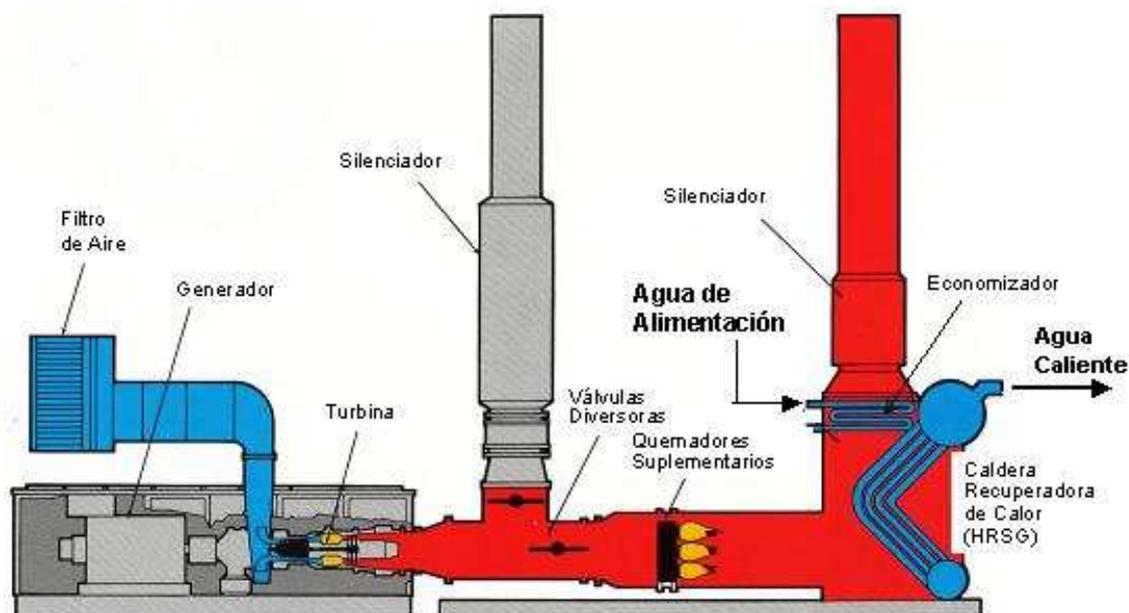


**Figura 3.22: Layout central Tres Puentes**

(Fuente: Declaración de impacto ambiental Instalación y operación turbogenerador Solar Titan 130, Edelmag S.A. Actualizado por el autor)

La configuración de un sistema de recuperación de calor de gases de escape puede ser visto en la figura 3.23. En dicha figura se observan los componentes principales del equipo de generación (filtro de aire de captación, turbina, generador eléctrico y silenciador) además de los componentes necesarios para la recuperación de calor. Las válvulas diversoras permiten desviar el flujo de gases calientes a la chimenea de la turbina en casos en que no se requiera la generación de agua caliente o situaciones en que se realice mantención a la

caldera recuperadora sin dejar de generar electricidad. Los quemadores suplementarios tienen la funcionalidad de aumentar la generación de calor en el conjunto (mediante combustión adicional de gas natural), al mismo tiempo que elevan la temperatura de los gases de escape para evitar la formación de agentes corrosivos<sup>52</sup>. La caldera de agua caliente eleva la temperatura del agua de circulación (de la red) o alimentación (reposición) mediante el intercambio térmico de los gases y el agua. El economizador cumple la función de pre calentar el agua entrante a la caldera, a fin de aumentar su eficiencia. Las calderas de recuperación de agua caliente tienen un rendimiento promedio de un 85%<sup>53</sup>.



**Figura 3.23: Esquema de sistema de recuperación de calor de gases de escape.**  
(Fuente: Gamma, 2004)

### Consideraciones operacionales de la central

Tanto por costos de inversión como de operación y mantención es imposible considerar la instalación de calderas recuperadoras para cada uno de los equipos turbogeneradores existentes en la central Tres Puentes<sup>54</sup>. Lo anterior perjudicaría la evaluación económica del proyecto. Se procede, por lo tanto, a diseñar una implementación enfocada en los equipos de utilización más recurrente.

El criterio de selección de equipos a utilizar para la generación eléctrica en la central se basa en la confección de un “*ranking* de despacho”. En dicho *ranking* se enlistan las

<sup>52</sup> La temperatura de los gases debe ser al menos de 121 °C. La temperatura anterior es la mínima en chimeneas de calderas a gas natural a fin de prevenir la formación de agentes corrosivos. La temperatura de punto de rocío de los gases de combustión de gas natural es de 65° C. Bajo esa temperatura se produce condensación ácida, agente nocivo para la operación de los equipos. (Thermal Engineering , “Calderas y sistemas de agua caliente”, p. 2) . Por otro lado muchos sistemas de abatimiento de NOx, por ejemplo sistemas de reducción no catalítica selectiva, requieren temperaturas mínimas para operar.

<sup>53</sup> Gamma, 2004.

<sup>54</sup> Detallados en la Tabla 2.13.

unidades según sus consumos específicos de combustibles (consumo de combustible por unidad de energía eléctrica generada, por ejemplo [kcal/kWh]) y los costos de mantención asociados<sup>55</sup>. Luego, se ponen en operación los equipos capaces de satisfacer la demanda eléctrica estimada y que además presenten las condiciones de operación más económicas dentro de las opciones disponibles (se eligen los equipos mejor *rankeados*). Las unidades que resultan ser las más utilizadas durante el año son los conjuntos turbogeneradores 7 y 9 (según nomenclatura de Edelmag S.A.), que se detallan a continuación.

**Tabla 3.44: Descripción de turbogeneradores de uso más frecuente en central Tres Puentes.**

<b>Unidad Turbogenerador:</b>	<b>Nº 7</b>	<b>Nº 9</b>
Origen equipo	E.E.U.U.	E.E.U.U.
Marca turbina	Solar	Solar
Modelo turbina	Titan 130	Titan 130
Marca generador	ABB	ABB
Tipo de generador	Sincrónico	Sincrónico
Tipo de combustible (1)	Gas natural, Diesel	Gas natural, Diesel
Año de fabricación	2003	2007
Potencia [kW]	13700	15000
Rendimiento [%] (2)	32,91	35,77

(Fuente: Elaboración propia)

(1) A pesar de la existencia de un estanque de Diesel en la central, los equipos operan siempre con gas natural.

(2) De catálogo, para porcentaje de carga óptimo.

Según información de Edelmag, el porcentaje de carga<sup>56</sup> más frecuente en los equipos corresponde a un 70%. El rendimiento de las unidades de turbo generación para dicha carga es de un 30%. Por lo tanto, la operación de la central puede ser aproximada según se muestra en la tabla siguiente.

<sup>55</sup> Las mantenciones se realizan luego de determinadas horas de operación de las máquinas. A partir de lo anterior es posible establecer un costo de operación de los equipos prorrateando los costos de mantención (la intervención en sí, los repuestos necesarios además del costo de oportunidad por la detención) por los intervalos de tiempo en que éstas se llevan a cabo.

<sup>56</sup> “Generación eléctrica instantánea / Generación eléctrica máxima del equipo”.

**Tabla 3.45: Balance para condición de operación más frecuente en equipos de mayor utilización de la central Tres Puentes.**

Conjunto turbo generador	Potencia máx. generación [kWe] (1)	Porcentaje de carga típico (2)	Generación eléctrica típica [kWe]	Rendimiento eléctrico turbo generador (3)	Porcentaje de pérdidas (4)	Calor recuperable [kWt]
Nº 7	13.700	70%	9.590	30%	5%	20.778
Nº 9	15.000	70%	10.500	30%	5%	22.750
<b>Total</b>	<b>28.700</b>		<b>20.090</b>			<b>43.528</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Máxima de catálogo. Valor informado por Edelmag S.A.
- (2) Carga de operación más recurrente en equipos analizados. Valor informado por Edelmag S.A.
- (3) Rendimiento de generación eléctrica para porcentaje de carga informado. Valor entregado por Edelmag S.A.
- (4) Pérdidas de energía irre recuperables y difícilmente evitables (por radiación, convección, ruido, vibraciones, etc.). Valor máximo según informe de Gamma 2004 (capítulo 2). El 5% es el valor típico de turbinas a gas de tamaños hasta aprox. 15 [MW].

Se observa en la tabla 3.45 que con la operación de los conjuntos Nº 7 y Nº 9, según las condiciones típicas informadas por Edelmag S.A., es posible suplir la demanda de calor máxima del sistema (32 [MW], correspondientes a consumos y pérdidas de calor en la red) de manera holgada mediante el uso de calderas recuperadoras de agua caliente<sup>57</sup>. En tal caso, la recuperación de calor ascendería a 37 [MW] (Calor recuperable por el rendimiento de la caldera = 43,528 [MW] x 0,85 = 37 [MW]).

A pesar de lo anterior, se debe tener en consideración la situación de generación eléctrica mínima anual (y por lo tanto mínima generación de calor). Por otro lado las situaciones de generación eléctrica por sobre la operación más frecuente (sobre los 21 [MW] de generación eléctrica, en donde hay calor de sobra) no resultan de mayor preocupación puesto que los gases de escape pueden ser desviados por las válvulas diversoras<sup>58</sup>. Las situaciones de mínima y máxima generación eléctrica ocurren en los siguientes instantes:

- Demanda mínima: 12,3 [MWe] (con 26,7 [MWt] recuperables; 22,7 [MWt] aprovechables). Ocurre a las 06 hrs. del mes de enero de 2011.
- Demanda máxima: 41,3 [MWe] (con 89,5 [MWt] recuperables; 76 [MWt] aprovechables). Ocurre a las 18 hrs. del mes de julio de 2011.

Se debe tener en cuenta en qué contexto de la demanda de calor de la red distrital ocurre la situación de generación eléctrica mínima. En el anexo D (tabla D.7) se observa que la mínima generación eléctrica coincide con una situación de demanda de calor despreciable. A partir de la observación anterior, la consideración de que la generación eléctrica aumenta junto con la demanda de calor del sistema durante el año<sup>59</sup>, el perfil de consumo de calor

<sup>57</sup> 85% de rendimiento, según Gamma 2004.

<sup>58</sup> Se controla así el ingreso de energía a la red distrital. Esto debe ser controlado de manera muy cuidadosa puesto que temperaturas por sobre los 95°C del agua de red puede repercutir en roturas de tuberías y desperfectos de equipos.

<sup>59</sup> Apreciable en la figura 2.12.

del sistema, la inercia térmica de un sistema de agua caliente<sup>60</sup> y la posibilidad de inyectar calor a la red aunque la demanda no lo requiera<sup>61</sup>, se desprende que la demanda de calor del sistema de calefacción distrital podrá ser siempre suplida mediante el aprovechamiento de los gases de escape de la central Tres Puentes.

### **Proyecto propuesto y su operación asociada**

Se propone la incorporación de calderas recuperadoras de agua caliente en los conjuntos turbo generadores 7 y 9 de la Central tres Puentes. Estos equipos, bajo un escenario de operación típico (70% de carga, 30% de rendimiento eléctrico) son suficientes para satisfacer holgadamente la demanda de calor del sistema.

Se asume que estos equipos son los que operan siempre y que las mantenciones tienen una periodicidad<sup>62</sup> y duración tales que su disponibilidad no es un factor relevante para el análisis (un conjunto opera mientras se hace mantención al otro. Mantenciones programadas en épocas de baja demanda de calor de la red). Se observa también que las mantenciones de periodicidad anual pueden ser llevadas a cabo en época estival, situación en que un único conjunto turbo generador es capaz de satisfacer la demanda total del sistema.

### **Central de cogeneración**

En esta opción de generación de calor se replica la configuración proyectada para la Central Tres Puentes (tanto para equipos generadores como calderas recuperadoras de calor) conectada en paralelo a la red, pero bajo un escenario de venta de energía eléctrica a la red al mismo tiempo que se satisface la demanda de calor de la red distrital. En este caso, el operador se hace cargo del costo de los combustibles utilizados.

Obviamente, esta opción considera que el operador del servicio se debe hacer cargo de la instalación de generadores eléctricos, conexiones a la red, etc.

### **Proyecto propuesto y su operación asociada**

Se propone la incorporación de dos unidades de turbo generación que totalizan 17,4[MW] de capacidad de generación eléctrica, equipados con calderas recuperadoras de agua caliente y el resto de componentes según se ha detallado en la figura 3.23. Esa capacidad de generación eléctrica operando con un porcentaje de carga de 100%, y con un rendimiento de 30%, es capaz de satisfacer la demanda máxima de calor del sistema.

---

<sup>60</sup> Capaz de palear por lapsos de tiempo cortos déficits de calor mediante la recirculación del agua de la red. Incluso, Filippini (1965) justifica el uso de agua caliente, por sobre el vapor, por esta característica.

<sup>61</sup> Es decir, inyectar calor a la red aunque la demanda sea menor. Con lo anterior es posible utilizar la red de distribución de calor como un estanque de almacenamiento de calor. Esta práctica permite mantener el sistema a la temperatura de operación evitándose calentar el sistema, previene el congelamiento del agua de red, etc.

<sup>62</sup> Cada 4.000 horas de operación: Sistema eléctrico y de control, sistema de aire, sistema lubricante, sistema de combustible líquido, sistema dual de combustible. Cada 8.000 horas: Sistema de combustible gaseoso, sistema de partida y motores auxiliares, generador.

Se asume que estos equipos operarán bajo la premisa de cogeneración de segundo escalón o de cola (se busca satisfacer demanda térmica como primera prioridad). Luego, el factor de carga de los equipos será variable en función de la demanda de calor. Se asume que para cualquier factor de carga el rendimiento de las máquinas es de un 30%. Así mismo, el rendimiento de las calderas recuperadoras de agua caliente es de un 85%.

### **Central generadora de calor a gas natural**

Se considera la incorporación de calderas de agua caliente a gas natural a fin de satisfacer las demandas de calor de la red distrital. La operación de las calderas se adapta al perfil de demanda de calor de la red.

#### **Proyecto propuesto y su operación asociada**

Se considera la incorporación de tres calderas de agua caliente con potencias nominales de 12,6 [MW] y rendimientos de un 85% cada una. La implementación de la potencia de planta repartida en tres equipos responde a la necesidad de contar con mayor disponibilidad del servicio y mejores flexibilidades frente a la ejecución de las mantenciones.

La operación comprende la utilización de los equipos de acuerdo al porcentaje de carga necesario para satisfacer la demanda de calor.

### **Planta para el tratamiento de agua**

Puesto que el agua de red sanitaria o pozo puede no contar con las características idóneas para su utilización en una red de agua caliente, se debe considerar la incorporación de una planta de tratamiento de agua. Lo anterior considerando tanto en los procesos de llenado de la red (puesta en marcha) como la incorporación de agua de reposición (durante la operación por concepto de purgas de caldera, filtraciones, etc.).

Con la utilización de agua tratada se disminuye la corrosión (*pitting*) e incrustaciones (*fouling*). Esto asegura eficiencia, larga vida útil de la red y equipos, además de evitarse reparaciones y accidentes.

Se menciona a la planta de tratamiento de agua y las condiciones que ésta debe proveer para su consideración en estudios más detallados.

#### **Características recomendadas de agua de la red**

Se recomienda que el agua de operación cuente con las siguientes características<sup>63</sup>:

- Aspecto general: incoloro, claro y libre de agentes indisolubles.
- pH<sup>64</sup> a 25°C: 10,5 – 11,8
- Alcalinidad total CaCO<sub>3</sub>: < 700 ppm

---

<sup>63</sup> Tomado de “Artículo técnico, Tratamiento de agua para calderas”, Thermal Engineering Ltda. según recomendaciones de la norma británica BS-2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TUV.

<sup>64</sup> Bajo pH repercute en problemas de corrosión, mientras que un alto pH conlleva deposición de sólidos.

- Alcalinidad Cáustica: > 350 ppm
- Secuestrantes de oxígeno:
  - Sulfito de sodio: 30 – 70 ppm
  - Hidrazina: 0,1 – 10 ppm
  - Taninos: 120 – 180 ppm
  - Dietilhidroxilamina: 0,1 – 1 ppm
- Fosfato  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ : 30 – 60 mg/l
- Hierro: < 3 ppm
- Sílice: 150 ppm
- Sólidos disueltos: < 3.500 ppm
- Sólidos en suspensión: < 200 ppm
- Dureza<sup>65</sup>: < 0,1 °dH
- Oxígeno: < 0,02 mg/l
- Conductividad<sup>66</sup>: < 7.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$

El agua de reposición del sistema (o *make up*) debe contar con,

- Aspecto general: incoloro, claro y libre de agentes indisolubles.
- pH a 25° C: 8,5 – 9,5
- Dureza total: < 2 ppm
- Oxígeno: < 8 ppb
- $\text{CO}_2$ : < 25 mg/l
- Contenido total de hierro: < 0,05 mg/l
- Contenido total de cobre: < 0,01 mg/l
- Alcalinidad total: < 25 ppm
- Contenido de aceite: < 1 mg/l

Las condiciones del agua de operación aplican tanto a la red pública de agua caliente como a las instalaciones en las viviendas. Según lo anterior, la planta de tratamiento de agua puede ser la encargada de proveer agua para los sistemas hidráulicos domésticos.

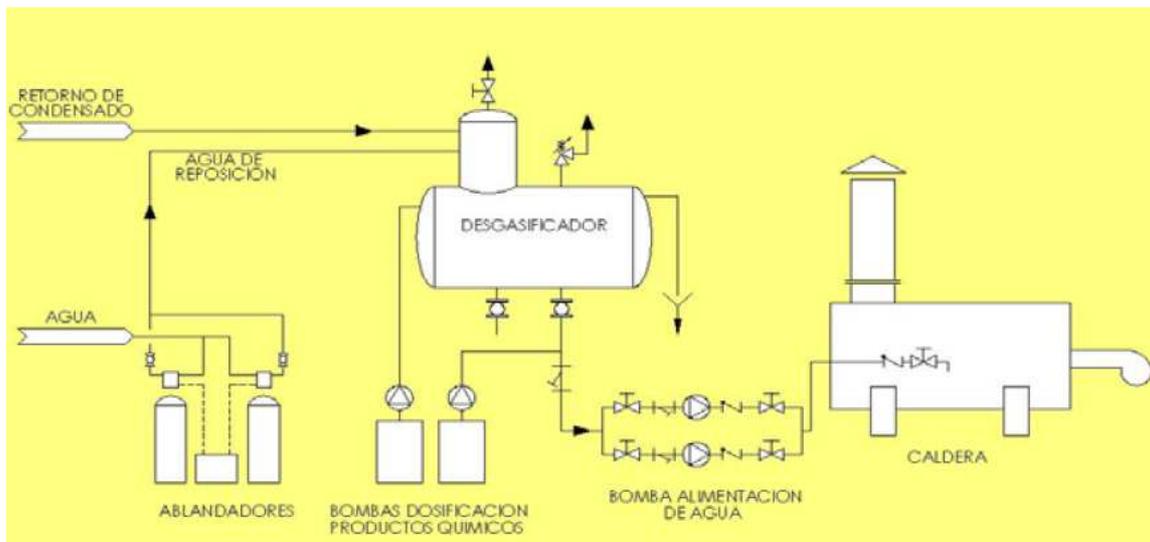
### Planta de tratamiento de agua

Los equipos principales involucrados en el tratamiento de agua son los ablandadores, las bombas dosificadoras, estanque de almacenamiento de agua y el des gasificador. Se observan los equipos y su disposición en la figura siguiente.

---

<sup>65</sup> Cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua.

<sup>66</sup> Permite el control de la salinidad del agua (iones presentes).



**Figura 3.24: Esquema de planta de tratamiento de agua.**

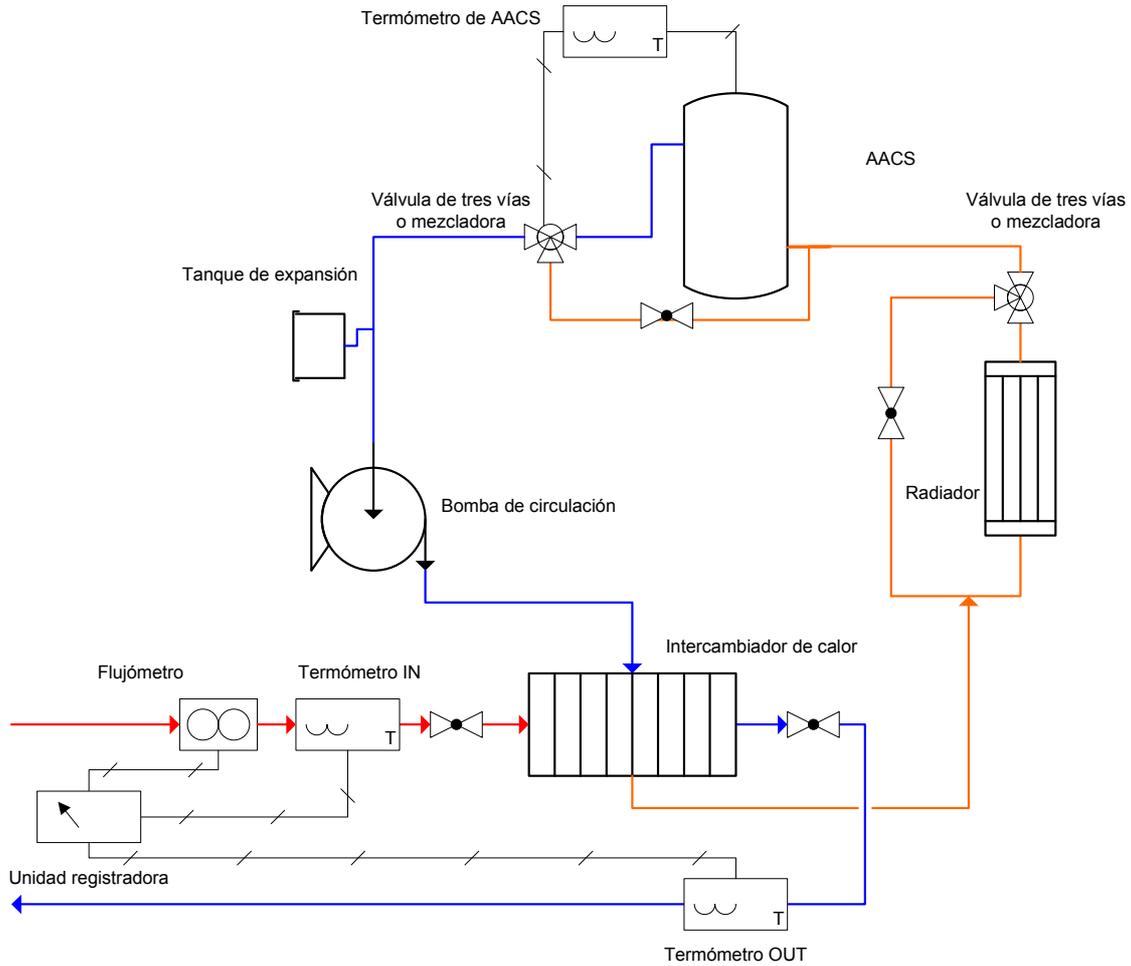
(Fuente: Thermal Engineering S.A.)

### 3.4.3. Diseño de central de vivienda

La central de vivienda comprende básicamente al sistema de conexión del suscriptor a la red, los equipos con que aprovecha el calor y los instrumentos con los que se mide el consumo de calor.

Se observa un diagrama de la instalación en la figura 3.25. Las conexiones de suministro y retorno de la red pública conectan con la central de vivienda mediante un intercambiador de calor de placas. En la conexión a la red pública se mide el volumen de agua que ingresa al intercambiador de calor, así como también la temperatura con que entra y sale el fluido. A partir de las tres mediciones anteriores es posible determinar el consumo de calor instantáneo del suscriptor, lo que queda registrado en una unidad registradora (programada de acuerdo a la ecuación 3.15). Es la unidad registradora la que entrega la lectura al funcionario de registros para la emisión de la cuenta mensual. El circuito cerrado al interior de la vivienda comprende la disposición en serie del elemento calefactor y el equipo generador de agua caliente sanitaria (AACS, de Acumulador de Agua Caliente Sanitaria, que es la denominación común de los equipos). Los dos componentes anteriores cuentan con conexiones de *by pass* a fin de poder regular los consumos de cada equipo o poderlos suprimir sin suspender la operación del equipo aguas abajo. Las válvulas de tres vías (o mezcladoras) permiten regular las cargas de operación de los equipos. En el caso del AACS se cuenta con un termómetro a fin de controlar la generación de ACS. El tanque de expansión cumple la función de contrarrestar los cambios de volumen del agua del circuito producto de las variaciones de temperatura. Por último, el agua es puesta a circular mediante la operación de una bomba de circulación<sup>67</sup>.

<sup>67</sup> Se descarta de plano la posibilidad de considerar sistemas de impulsión gravitatorios (impulsores mediante las variaciones de temperatura del agua del circuito) dadas sus pocas capacidades de levantamiento de presión y poca adaptabilidad a expansiones del sistema.



**Figura 3.25: Diagrama de conexión y central de vivienda.**

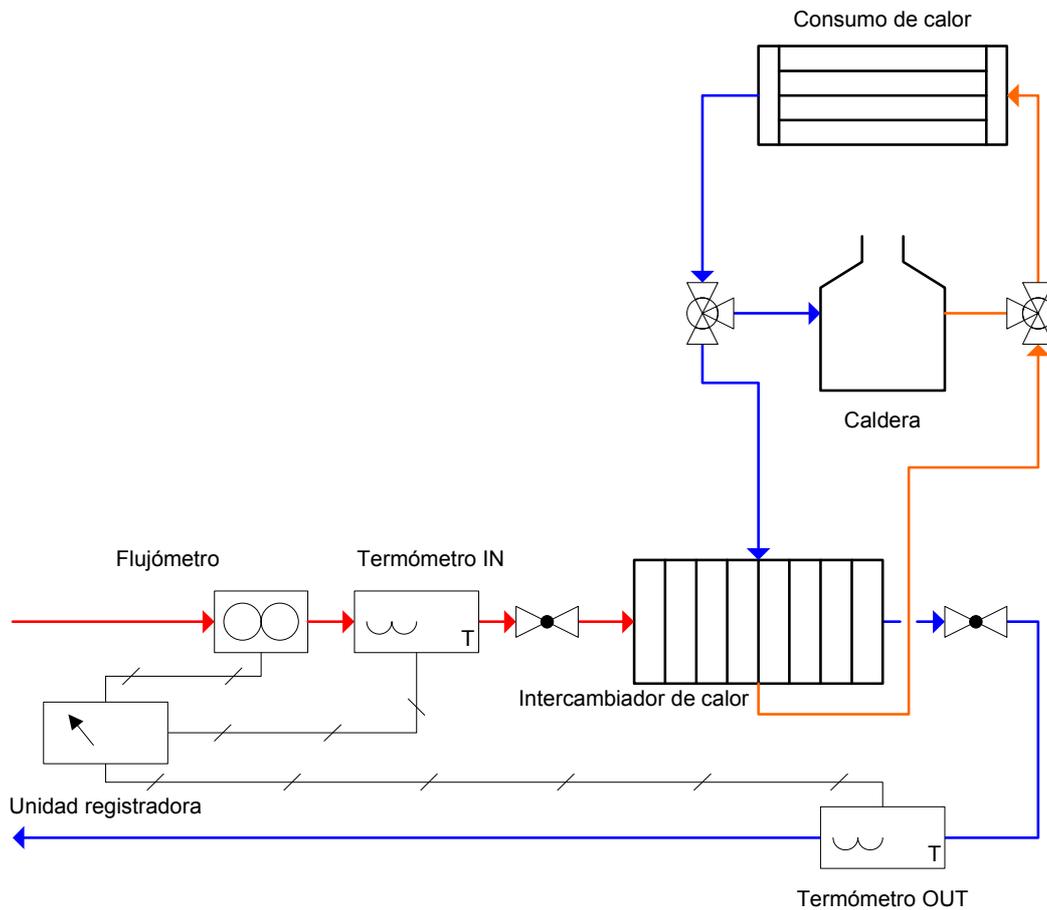
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 3.26: Conexión de vivienda particular a la red.**

(Fuente: Chapman, 2007)

En el caso de los recintos públicos (centros comerciales y hospital, en donde ya existe un sistema de agua caliente operativo) la conexión se limita a un intercambiador de calor de placas dispuesto en paralelo con el sistema actual, según muestra la figura 3.27. De esta manera es posible la operación exclusiva de las calderas (por ejemplo, en caso de falla del servicio), operación exclusiva del intercambiador de calor (situación normal) ó la combinación de ambos sistemas (por ejemplo, situaciones de frío extremo).



**Figura 3.27: Diagrama de conexión y central de recintos públicos.**

(Fuente: Elaboración propia)

## Tipos de instalaciones para calefacción

Este apartado aplica sólo a los consumidores residenciales (conjuntos de consumo públicos ya cuentan con instalación).

Existen básicamente tres sistemas de calefacción en recintos, que se distinguen según cómo ceden el calor al ambiente:

- Radiación y convección combinadas.
- Convección.
- Conducción y convección.

La radiación y convección combinadas se obtiene mediante la operación de los equipos comúnmente denominado radiadores<sup>68</sup>. El radiador está formado por diversas secciones unidas entre sí y que permiten la circulación de líquidos calientes en su interior. La circulación de los líquidos calienta al equipo produciéndose el intercambio térmico con el aire del ambiente a calefaccionar. La incorporación de diversas secciones aumenta el área de intercambio térmico con lo que se logra operaciones satisfactorias con equipos de tamaños acotados. El calor se distribuye por convección en todo el ambiente: por debajo del equipo ingresa aire frío el cual es calentado en las placas del radiador, una vez caliente sube hasta el techo de la habitación para luego circular y repetir el ciclo. Puesto que el aire ascendente forma una cortina de aire caliente, se recomienda la instalación de radiadores bajo ventanas.

En el caso de la entrega de calor por convección exclusiva los equipos involucrados son los denominados convectores. Los convectores son equipos similares a los radiadores pero que incorporan mecanismos que aumentan la velocidad del aire en circulación por el cuerpo caliente. Para lo anterior se cubre al radiador minimizando la transferencia por radiación. Lo anterior permite corrientes de aire caliente más significativas y orientadas a los sectores bajos de las habitaciones, obteniéndose una mejor distribución del aire caliente.

La losa radiante permite la transferencia de calor mediante circulación de agua caliente en pisos y techos, los que una vez calentados producen convección al interior del recinto. Lo anterior ahorra espacios, pero presenta el inconveniente de tener que ser instalada al momento de la construcción de la vivienda dado su costo y dificultad de implementación. Las temperaturas de operación de estos sistemas deben ser bajas a fin de evitar molestias en los usuarios<sup>69</sup>. Una instalación de losa radiante se puede observar en la figura 3.28.



**Figura 3.28: Esquema de instalación de losa radiante en una vivienda.**

(Fuente: [www.deplanos.com](http://www.deplanos.com))

---

<sup>68</sup> Resulta anecdótico mencionar que en estos equipos, sólo el 18% del calor cedido es mediante el fenómeno de radiación. A pesar de todo, la denominación “radiador” está indudablemente implantada en la cultura popular y es la que se utilizará en este informe.

<sup>69</sup> En el caso de los pisos el límite superior es de 30° C. En el caso de los techos, se sugiere no sobrepasar los 50° C para evitar radiación molesta en las cabezas de los usuarios. No se recomienda la instalación de cañerías en muros por la mayor pérdida de calor que eso significaría.

Por simplicidad, economía, disponibilidad, facilidad de instalación y adaptabilidad a posibles ampliaciones de los sistemas residenciales se selecciona al radiador como medio de calefacción en hogares.

## Selección de equipos y materiales sistema hidrónico

### Intercambiador de calor

Se establece como requerimiento para la selección de los equipos la condición de que el intercambiador de calor sea del tipo placa plana. Lo anterior por sus mayores eficiencias, menores volúmenes y mínima tasa de *fouling* en el equipo<sup>70</sup>.

El dimensionamiento y selección de los intercambiadores de calor requeridos para cada tipo de suscriptor se llevó a cabo mediante el uso del *software* Elsa, desarrollado por el fabricante de intercambiadores de calor italiano Cipriani, disponible en el sitio web del representante de la marca en el país, Anwo.

Los equipos seleccionados, así como sus características principales se aprecian en la tabla 3.46. Todos presentan una configuración de contra corriente de caudales.

**Tabla 3.46: Intercambiadores de calor seleccionados.**

Suscriptor	Marca	Modelo	Cant. Placas	Material placas (1)	U [W/m <sup>2</sup> °C]	Potencia [kW]	Pérdida carga red [kPa] (2)	Pérdida de carga residencial [kPa] (3)	Dimensiones intercambiador [mm <sup>3</sup> ]	Peso intercambiador [kg]	Accesorios
Vivienda Tipo	Cipriani Scambiatori	EXL 2A 10S DG	10	Acero inox. 316	7660	10,4	11,4	7,74	55x85x248	1,8	Aislación (25 mm de fibra de vidrio + chapa de aluminio), Soporte para pared
Vivienda Mejorada	Cipriani Scambiatori	EXL 2A 06S SE	6	Acero inox. 316	10400	10,1	39	18,5	46x85x249	1,5	"
Vivienda EE	Cipriani Scambiatori	EXL 2A 06S SE	6	Acero inox. 316	8220	6,54	17,1	8,11	46x85x249	1,5	"
Hospital	Cipriani Scambiatori	EXL 14A 70S SR	70	Acero inox. 316	9410	393	75,9	74,3	206x265x528	37	Aislación (25 mm de fibra de vidrio + chapa de aluminio)
MEU	Cipriani Scambiatori	EXL 14A 50S SR	50	Acero inox. 316	10800	364	104	99,8	155x265x528	29	"
MZA	Cipriani Scambiatori	EXL 2A 20S DG	20	Acero inox. 316	13200	64	90,8	78,4	78x85x248	2,7	Aislación (25 mm de fibra de vidrio + chapa de aluminio), Soporte para pared

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Soldadura de cobre en todos los intercambiadores.
- (2) Pérdida de carga del agua de red al circular por el intercambiador de calor.
- (3) Pérdida de carga del agua de circuito doméstico de calefacción al circular por el intercambiador de calor.

### Radiadores

La selección de los radiadores a instalar en las viviendas de los suscriptores residenciales se lleva a cabo mediante la metodología propuesta por Anwo y basada en la norma DIN 4703, la que entrega valores de corrección para el análisis de equipos operando bajo condiciones

<sup>70</sup> Producto de la alta turbulencia de circulación del agua por el equipo.

distintas a las establecida en la norma DIN 4704<sup>71</sup>. La metodología básicamente consiste en la utilización de una tabla de triple entrada (temperatura ambiente de recinto calefaccionado y temperaturas de entrada y salida del radiador del agua del circuito de calefacción doméstico), la que entrega factores de corrección de potencia de los radiadores. La potencia nominal requerida se multiplica por el factor obtenido en la tabla a fin de determinar la potencia del radiador a seleccionar. La tabla 3.47 detalla los factores de corrección para el dimensionamiento de radiadores Ocean, distribuidos por Anwo.

---

<sup>71</sup> Temperatura de ingreso del agua de 90° C, temperatura de salida de 70° C y temperatura ambiente del recinto de 20° C.

**Tabla 3.47: Factores de corrección para dimensionamiento de radiadores Ocean.**

Temperatura entrada agua de circuito doméstico [°C]	Temperatura salida agua de circuito doméstico [°C]	Temperatura ambiente de recinto a calefaccionar [°C]						
		10	12	15	18	20	22	24
90	85	0,72	0,73	0,77	0,82	0,85	0,88	0,92
	80	0,75	0,77	0,81	0,86	0,89	0,93	0,97
	75	0,78	0,81	0,85	0,90	0,94	0,98	1,03
	70	0,82	0,85	0,90	0,96	1,00	1,05	1,10
85	80	0,78	0,80	0,85	0,90	0,94	0,98	1,02
	75	0,82	0,84	0,89	0,95	0,99	1,04	1,08
	70	0,86	0,89	0,94	1,01	1,05	1,10	1,16
	65	0,90	0,94	1,00	1,07	1,12	1,18	1,24
80	75	0,86	0,88	0,94	1,00	1,05	1,10	1,15
	70	0,90	0,93	0,99	1,06	1,11	1,17	1,22
	65	0,95	0,98	1,05	1,13	1,19	1,25	1,32
	60	1,00	1,05	1,12	1,21	1,27	1,35	1,42
75	70	0,95	0,98	1,05	1,12	1,18	1,24	1,30
	65	1,00	1,04	1,11	1,19	1,26	1,33	1,40
	60	1,06	1,10	1,19	1,28	1,35	1,43	1,52
	55	1,12	1,18	1,27	1,38	1,47	1,56	1,66
70	65	1,04	1,09	1,18	1,27	1,34	1,42	1,50
	60	1,12	1,17	1,26	1,36	1,44	1,53	1,63
	55	1,19	1,25	1,35	1,47	1,57	1,67	1,79
	50	1,27	1,35	1,47	1,61	1,72	1,85	1,99
65	60	1,19	1,24	1,34	1,46	1,56	1,66	1,77
	55	1,27	1,33	1,44	1,58	1,68	1,80	1,94
	50	1,35	1,43	1,57	1,73	1,85	1,99	2,15
	45	1,47	1,56	1,72	1,91	2,07	2,24	2,44
60	55	1,35	1,42	1,55	1,70	1,82	1,96	2,11
	50	1,45	1,53	1,68	1,87	2,02	2,18	2,36
	45	1,57	1,67	1,85	2,07	2,24	2,45	2,68
	40	1,72	1,85	2,07	2,34	2,56	2,82	3,14
55	50	1,55	1,65	1,82	2,03	2,20	2,39	2,61
	45	1,69	1,80	2,01	2,26	2,46	2,69	2,98
	40	1,85	1,99	2,24	2,56	2,82	3,12	3,50
	35	2,07	2,24	2,56	2,97	3,32	3,76	4,32
50	45	1,82	1,96	2,20	2,49	2,73	3,02	3,36
	40	2,02	2,17	2,46	2,83	3,14	3,51	3,97
	35	2,24	2,45	2,82	3,30	3,72	4,24	4,92
	30	2,56	2,82	3,32	4,02	4,66	5,52	6,78

(Fuente: Anwo.

<http://www.anwo.cl/archivos/publicaciones/Factores%20de%20correccion%20para%20radiadores%20Ocean/Factores%20de%20correccion%20para%20radiadores%20Ocean.pdf>, Consultado el 15/06/12)

Por ejemplo, si se requieren 600[kcal/h] para calefaccionar un ambiente a 22° C, considerando agua de circuito que ingresa al radiador a 75° C y que es retornada a 60° C, se

obtiene un factor de corrección de 1,43. Luego, se debe seleccionar un radiador que tenga al menos  $1,43 \times 600 \text{ [Kcal/h]} = 858 \text{ [Kcal/h]}$  de potencia nominal.

Resulta interesante notar de la tabla 3.47 que a mayor salto térmico en el radiador, mayor es el equipo requerido (reflejado con un mayor factor de corrección). Por otro lado, a menor temperatura de circulación del agua en el circuito domiciliario, y por lo tanto menor temperatura en el mismo radiador, mayor es el equipo requerido. Lo anterior por el menor gradiente térmico entre el ambiente y el radiador. Es este último punto el que motiva maximizar la temperatura del agua del circuito doméstico; para mismos caudales de agua en circulación y potencia térmica se requieren equipos menores.

Los resultados de la selección se aprecian en la tabla 3.48. Como se estableció en el apartado 3.3.2, la temperatura de confort de las viviendas se asume igual a  $21^\circ \text{C}$ . Puesto que la tabla 3.47 no contempla esa temperatura ambiente, se utilizan los factores asociados a  $22^\circ \text{C}$ , con lo que se obtiene un margen de seguridad en la selección de los equipos.

**Tabla 3.48: Selección de radiadores para viviendas.**

Tipología de vivienda	Potencia de calefacción requerida [kW] (1)	Temperatura entrada agua circuito doméstico [°C] (2)	Temperatura salida agua circuito doméstico [°C] (2)	Factor de corrección de dimensionamiento (3)	Potencia de calefactor a seleccionar [kW] (4)	Potencia de calefactor a seleccionar [kcal/h]	Marca	Modelo	Cantidad de radiadores	Potencia [kcal/h] (5)	Capacidad [lt]	Dimensiones [mm3]
Tipo	10,43	80	70	1,17	12,2	10.495	Ocean	EK 500.3000 K	3	2.919	14,4	3000x500x52
							Ocean	EK 500.1800 K	1	1.751	8,64	1800x500x52
Mejorada	10,09	80	70	1,17	11,8	10.153	Ocean	EK 500.3000 K	3	2.919	14,4	3000x500x52
							Ocean	EK 500.1400	1	1.362	6,72	1400x500x52
EE	6,54	80	70	1,17	7,7	6.581	Ocean	EK 500.3000 K	2	2.919	14,4	3000x500x52
							Ocean	EK 500.0800	1	778	3,84	800x500x52

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Condiciones de máximo requerimiento térmico, 07:00 hrs. del mes de agosto.
- (2) Según temperatura generada por software de selección de intercambiador de calor. Se considera un salto térmico de  $11,1^\circ \text{C}$  para seguir los criterios de diseño de ASHRAE, sin embargo, el  $\Delta T$  se aproxima a  $10^\circ \text{C}$  para la utilización de la tabla 3.47.
- (3) De tabla 3.47.
- (4) Correspondiente a la potencia de calefacción requerida por factor de corrección de dimensionamiento.
- (5) Equipo probado según condiciones de norma DIN 4704.

Se debe notar de la tabla 3.48 que dadas las potencias de calefacción requeridas es necesaria la instalación de más de un radiador en cada vivienda. Si bien esto presenta mayores costos por adquisición de equipos e instalación de éstos, se debe considerar que lo anterior presenta la oportunidad de aumentar el confort en los hogares al implementarse un sistema de calefacción mejor distribuido al interior de la vivienda. Para minimizar las pérdidas de carga por la circulación de agua en los radiadores, al mismo tiempo que se uniformiza la transferencia calórica en la vivienda, se dispondrán los equipos en paralelo.

### Acumulador de ACS

Tal como se ve en la figura 3.25 la generación de ACS se lleva a cabo en los AACs. Estos equipos consisten en estanques térmicamente aislados y con un serpentín sumergido. Por el serpentín circula agua del sistema residencial de calefacción. El AAC cuenta con un termostato que permite la optimización del uso del calor. Si la temperatura del estanque sobrepasa a la temperatura de consumo del ACS (fijada en  $45^\circ \text{C}$ ) el agua circula por el *by pass*.

Como se establece en el apartado 3.3.3 se requieren 40 [l/día hab.] de ACS a 45° C. Puesto que la configuración familiar más probable asumida es de 4 [hab/vivienda], se requiere un estanque de 160 [l]. Este estanque equipará a las viviendas de las tres tipologías.

Se selecciona, del catálogo comercial de la empresa Anwo, el acumulador CV-200-M1 con capacidad de 200 [l]<sup>72</sup> y una potencia de serpentín de 55 [kW].

### Cañerías

Los diámetros de las cañerías de la instalación doméstica se determinan siguiendo el mismo criterio de la red distrital. Con lo anterior se mantiene acotado el consumo energético por bombeo, al mismo tiempo que se obtiene un equilibrio con la velocidad de circulación del agua, evitándose ruidos molestos al interior de la vivienda. Se debe mencionar que en este caso no resultan relevantes las pérdidas de calor por las cañerías, puesto que se producen al interior del hogar, por lo que no es necesario aislarlas.

**Tabla 3.49: Selección de diámetros de cañerías para redes domésticas.**

Tipología de vivienda	Caudal de agua requerido [kg/s] (1)	Diámetro escogido [m]	Pérdida de carga [m.c.a./m]
Tipo	0,23	0,0262	0,009
Mejorada	0,22	0,0262	0,008
EE	0,14	0,0204	0,013

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Considera densidad de agua de 1.000 kg/m<sup>3</sup>. Caudal a partir de software de selección de intercambiador de calor, Elsa de Cipriani Scambiatori.

Si bien cada casa requerirá una distribución de equipos única (ya sea por distribución de habitaciones, disposición de muebles, etc.) se asume que con 20 [m] de cañería es posible la conexión de todos los equipos del sistema residencial.

### Válvulas

Como se muestra en la figura 3.25 cada vivienda requiere de dos válvulas de tres vías para el control de temperatura en radiadores y AACS. El *by pass* requiere una válvula de bola a fin de poderlo aislar en caso de necesidad.

### Bombas

Se seleccionan bombas impulsoras de acuerdo a los siguientes parámetros de operación detallados en la tabla 3.50.

<sup>72</sup> El de menor volumen en el catálogo. Aún así, resulta positivo contar con holuras de almacenamiento de ACS.

**Tabla 3.50: Pérdidas de carga, presión total a levantar y caudales de circulación requeridos en viviendas**

Tipología de vivienda	Pérdida de carga en cañería [m.c.a.] (1)	Pérdidas de carga en intercambiador de calor [m.c.a.] (2)	Pérdidas de carga en válvulas de tres vías [m.c.a.] (3)	Pérdida de carga en AACS [m.c.a.] (4)	Pérdida de carga en radiadores en paralelo [m.c.a.] (5)	Pérdida de carga total en red domiciliaria [m.c.a.] (6)	Caudal de agua caliente [m <sup>3</sup> /h]	Presión de trabajo de agua de red [m.c.a.] (7)
Tipo	0,18	0,789	0,050	0,044	0,049	1,11	0,828	9,69
Mejorada	0,17	1,887	0,046	0,042	0,118	2,26	0,792	9,69
EE	0,26	0,827	0,053	0,064	0,092	1,29	0,504	9,69

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) 20 [m] de longitud.
- (2) De software Elsa de selección de intercambiadores de calor.
- (3) Se asume que estas válvulas tienen un coeficiente de pérdida de carga similar al de las válvulas de globo,  $k = 5$ .
- (4) Puesto que el AACS es un serpentín sumergido en un estanque de agua se asume que su pérdida de carga asociada corresponde a 5 [m] de cañería de red.
- (5) Calculado según expresión 3.35 para equipos en paralelo. Se considera que todos los radiadores de la vivienda presentan la misma pérdida de carga. Se iguala la pérdida de calor de los radiadores al del intercambiador de calor
- (6) Todas las pérdidas están en serie, por lo que es la sumatoria de las columnas anteriores. Esta es la presión a levantar por la bomba.
- (7) Según expresión 3.33. Presurización requerida en el sistema.

La potencia de operación de una bomba se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$P_{Real\ Bomba} = \frac{P_{Bomba}}{\varepsilon} = \frac{\rho g Q H}{\varepsilon} [W] \quad (3.40)$$

Donde,

$P_{Real\ Bomba}$ , potencia real de operación de la bomba en [W].

$P_{Bomba}$ , potencia de operación de la bomba en [W].

$\varepsilon$ , rendimiento de motor y bomba, a dimensional.

$\rho$ , densidad media del agua bombeada, igual a  $975,3 \text{ [kg/m}^3\text{]}^{73}$ .

$Q$ , caudal de agua desplazado por la bomba, en  $[\text{m}^3/\text{s}]$ .

$H$ , ganancia de carga de la bomba en [m].

Considerando la expresión 3.40 y las condiciones de operación requeridas de las bombas (tabla 3.50) es posible notar que la potencia requerida de las bombas no sobrepasa los 10[W] de potencia si se asume un rendimiento del 80% en el equipo. Por lo tanto, el criterio de selección de bombas para circuitos residenciales se limita a elegir la bomba de menor potencia dentro de la disponibilidad comercial. Se selecciona, para las tres tipologías de viviendas, la bomba NOCCHI SR3 de 104 [W] de potencia desde el catálogo de la empresa Recal.

<sup>73</sup> Densidad del agua a 75° C, temperatura media del agua de circuito residencial.

## Estanque de expansión

Al igual que la red distrital, los circuitos domésticos también requieren de un tanque de expansión a fin de evitar desperfectos asociados a cambios de temperatura en el agua. De igual manera que la red, se decide la selección de tanques con diafragma a fin de evitar el ingreso de aire al circuito.

Se sigue el procedimiento expuesto en el apartado “Cámara de expansión del sistema” y considerando el volumen de agua contenido en cada tipo de vivienda, las presiones de operación, así como también la materialidad de las cañerías de los circuitos domésticos (en este caso, de PEX). Se obtienen los siguientes valores.

**Tabla 3.51: Volúmenes de tanques de expansión requeridos.**

Tipología de vivienda	Volumen de tanque de expansión requerido [lt]
Tipo	3,1
Mejorada	1,6
EE	1,7

(Fuente: Elaboración propia)

Puesto que para los volúmenes requeridos no existen tanques de expansión comerciales, se selecciona el menor disponible. Se selecciona un tanque de expansión de 8 [l] con configuración cilíndrica<sup>74</sup> en el catálogo de la empresa Recal S.A.

## Medición y control

Como se observa en la figura 3.25 es necesaria la instalación de un flujómetro y dos termómetros (uno aguas arriba y otro aguas abajo del intercambiador de calor) para la determinación del suministro calórico de cada suscriptor. Las mediciones de los tres instrumentos convergen en una unidad registradora (o *datalogger*) del consumo calórico del suscriptor.

Para el cumplimiento del proceso de registro del consumo del suscriptor se selecciona el calorímetro Microclima <sup>3</sup>/<sub>4</sub>” y un *datalogger* genérico para el almacenamiento de datos.

# 4. Proyecto económico

## 4.1. Inversión en red de distribución

Las tablas siguientes muestran los montos de inversión para la red de distribución de calor.

---

<sup>74</sup> Existen tanques de menor volumen pero en configuración plana. Estos equipos presentan valores cercanos al triple en comparación a los cilíndricos, por lo que son descartados.

En el caso de las tuberías, se obtiene el valor por [kg] de material empleado<sup>75</sup> a fin de obtener un índice [\$/kg] a fin de obtenerse los costos aproximados. Se añade un 10% adicional del costo total a fin de cubrir eventuales contingencias producto del supuesto.

**Tabla 4.1: Costos de inversión en tubería de red distrital.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [US\$]	Valor total [US\$]
<b>Tuberías suministro y retorno (1)</b>				
Tubería tramo A, 0,5 [m] diam. PP/FRP	[m]	6.590	-	283.766
Tubería tramo B, 0,45 [m] diam. PP/FRP	[m]	988	-	38.353
Tubería tramo C, 0,355 [m] diam. PP/FRP	[m]	1.674	-	58.298
Tubería tramo D, 0,11 [m] diam. PP/FRP	[m]	130	-	979
Tubería tramo E, 0,45 [m] diam. PP/FRP	[m]	260	-	10.093
Tubería tramo F, 0,315 [m] diam. PP/FRP	[m]	200	-	6.965
Tubería tramo G, 0,25 [m] diam. PP/FRP	[m]	1.192	-	32.730
Tubería tramo H, 0,2 [m] diam. PP/FRP	[m]	514	-	9.285
Tubería tramo I, 0,4 [m] diam. PP/FRP	[m]	2.350	-	91.225
Tubería tramo J, 0,16 [m] diam. PP/FRP	[m]	890	-	11.692
Tubería tramo K, 0,2 [m] diam. PP/FRP	[m]	356	-	6.431
Tubería tramo L, 0,16 [m] diam. PP/FRP	[m]	780	-	10.247
Tubería tramo M, 0,16 [m] diam. PP/FRP	[m]	284	-	3.731
Tubería tramo N, 0,11 [m] diam. PP/FRP	[m]	120	-	1.136
Tubería tramo O, 0,4 [m] diam. PP/FRP	[m]	1.164	-	45.186
Tubería tramo P, 0,2 [m] diam. PP/FRP	[m]	368	-	6.648
Tubería tramo Q, 0,063 [m] diam. PEX	[m]	568	-	4.277
Contingencias, 15% del total.				93.156
<b>Total inversión en tuberías</b>				<b>714.199</b>
<b>Aislación tuberías (2)</b>				
A. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	6.590	68,4	450.756
B. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	988	63,6	62.837
C. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	1.674	54,1	90.563
D. Aislante lana mineral 40 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	130	22,3	2.899
E. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	260	63,6	16.536
F. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	200	49,3	9.860
G. Aislante lana mineral 50 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	1.192	40	47.680
H. Aislante lana mineral 50 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	514	35,2	18.093
I. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	2.350	58,9	138.415
J. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	890	33,3	29.637
K. Aislante lana mineral 50 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	356	35,2	12.531
L. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	780	33,3	25.974
M. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	284	26,8	7.611
N. Aislante lana mineral 40 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	120	22,3	2.676
O. Aislante lana mineral 60 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	1.164	58,9	68.560
P. Aislante lana mineral 50 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	368	35,2	12.954
Q. Aislante lana mineral 40 [mm], recubrimiento e instalación	[m]	568	18,5	10.508
<b>Total inversión aislante</b>				<b>1.008.090</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Bajo supuesto de costo por kg de material empleado en cada tramo de la red.  
(2) Tabla E.18 de anexo E

<sup>75</sup> Aproximado por costo promedio de tuberías de HDPE PN10 PE100 en diámetros de 315, 400 y 710 [mm]. Resultante 1.721,8 [US\$/m<sup>3</sup>]. Cotizadas en empresas SPP, Infeplas Ltda. y Solmax Chile SPA Plastechnia.

**Tabla 4.2: Costo de instalación de tubería y accesorios.**

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [UF] (5)	Valor Unitario [US\$] (6)	Valor total [US\$]
Almac. y manejo de cañería en patio (3% valor cañería)	[unid.]	-	-	-	21.426
Apertura y Nivelación	[m]	18.428	0,05	2,3	42.275
Cierres Provisorios	[unid.]	1		1.000,0	1.000
Excavación y Disposición de Material	[m]	18.428	0,66	30,3	558.032
Manejo, Transporte y desfile cañería	[m]	18.428	0,10	4,6	84.550
Curvado cañería (en 45º) (1)	[unid.]	10	20,00	917,6	9.176
Instalación (fijación.; Rx & Rev.) y bajada cañería	[m]	18.428	0,40	18,4	338.201
Pretapado con material fino	[m]	18.428	0,50	22,9	422.752
Tapado y nivelación final con alta compactación	[m]	18.428	0,34	15,6	287.471
Planos As-built	[m]	18.428	0,01	0,5	8.455
Limpieza interior y Secado	[m]	18.428	0,04	1,8	33.461
Prueba hidráulica	[m]	18.428	0,09	3,9	72.364
Restitución servidumbre	[m]	18.428	0,90	41,3	760.953
Cruce Rutas y Caminos con tunelera (2)	[unid.]	2	900	41.293,3	82.587
Cámara Válvula de Corte & check (3)	[unid.]	8	1.500	68.822,2	550.578
Instalación Válvulas	[unid.]	1	750	34.411,1	34.411
Instalación señalizaciones (4)	[unid.]	2	10	458,8	918
Administración y Supervisión (Equipo = 2p)	[unid.]	1	750	34.411,1	34.411
Inspección de Obra (Equipo = 1p)	[unid.]	1	500	22.940,7	22.941
Inspección Revestimiento CIS ó DCVG	[m]	18.428		2,6	47.913
Auditoría de certificación	[unid.]	1	1.000	45.881,5	45.881
<b>Total</b>					<b>3.459.757</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Se estima que se requieren aproximadamente 10 curvados, principalmente en tramo A.
- (2) Se considera el cruce de los dos caminos principales por donde se proyecta la red, Av. Frei M. y Av. Bulnes.
- (3) Se proyecta una cámara por cada conjunto de bombeo.
- (4) Una por cada cruce de camino.
- (5) Valores en UF entregados por Gamma Ingenieros S.A. para la instalación de oleoducto de características similares a las propuestas.
- (6) Se asume valor de la UF al día 09/07/12 equivalente a 22.627,36 [\$/UF]. El tipo de cambio se obtiene al promediar el valor observado del dólar para todos los días entre el 02/01/12 y el 09/07/12 según publica el Banco Central de Chile. El tipo de cambio resultante es de 493,17 [\$/US\$].

Por otro lado las incorporaciones de los suscriptores residenciales a la red implican una inversión por intervención y montaje de matrices en los conjuntos de consumo, aparte de las inversiones en la red principal (cañerías a nivel de cuadras o calles, reemplazo de pavimentación, etc.). Estas inversiones se extraen del informe de POCH 2009, en cuyo caso se entregan valores de instalación de redes en sectores residenciales pavimentados, asimilables a los sectores estudiados en este informe a partir de una relación de proporcionalidad de viviendas a adaptar por barrio. Se detallan a continuación los costos.

**Tabla 4.3: Inversiones por montaje de redes en conjuntos de consumo.**

Conjunto de consumo	Inversión por montaje de red [US\$]
VLN	183.135
PBC	22.102
VTP	54.406
VLF	21.860
CAB	29.455
VCRSH	333.723
Hosp. Clínico	6.857
MEU	6.857
MZA	6.857
<b>Total</b>	<b>665.252</b>

(Fuente: Elaboración propia)

## 4.2. Inversión en equipos de red

Se muestra en las tablas siguientes los costos de inversión por concepto de válvulas de la red (retención y compuerta) y bombas (incluyendo costos de motor).

**Tabla 4.4: Inversión en válvulas.**

Tramo	Diámetro [in] (1)	Costo unitario válvula de compuerta [US\$] (2)	Costo unitario válvula de retención [US\$] (2)	Número de válvulas compuerta del tramo	Número de válvulas retención del tramo	Costo total válvulas del tramo [US\$]
A	19	7.422	5.662	4	2	41.012
B	17	6.641	5.066	4	0	26.564
C	13	5.078	3.874	4	0	20.312
D	4	1.563	1.192	4	0	6.252
E	17	6.641	5.066	4	1	31.630
F	12	4.688	3.576	4	2	25.904
G	9	3.516	2.682	4	0	14.064
H	8	3.125	2.384	4	2	17.268
I	15	5.859	4.470	4	2	32.376
J	6	2.344	1.788	4	2	12.952
K	8	3.125	2.384	4	2	17.268
L	6	2.344	1.788	4	0	9.376
M	6	2.344	1.788	4	0	9.376
N	4	1.566	1.192	4	0	6.264
O	15	5.859	4.470	4	1	27.906
P	8	3.125	2.384	4	0	12.500
Q	2	2.813	596	4	0	11.252
<b>Total</b>				<b>68</b>	<b>14</b>	<b>322.276</b>

(Fuente: elaboración propia)

(1) Valores aproximados para interpolación de costos de válvulas.

(2) Interpolado de cotizaciones concretadas de acuerdo al diámetro del tramo asociado.

**Tabla 4.5: Inversión en bombas.**

Conjunto de bombas	Unidades a instalar	Costo unitario bomba [US\$] (1)	Costo total de bombas del conjunto [US\$]
I	12	59.207	710.482
II	3	54.327	162.980
III	4	54.327	217.306
IV	4	54.035	216.139
V	6	56.478	338.871
VI	4	53.983	215.932
VII (suministro)	2	59.207	118.414
VII (retorno)	2	54.214	108.429
VIII	3	56.478	169.435
<b>Total</b>			<b>2.257.987</b>

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Incluye motor. Valores interpolados a partir de cotizaciones concretadas con empresas Bombatek y Vogt.

### 4.3. Costo de opciones de centrales generadoras de calor

Como antecedente a los costos de instalación de centrales de cogeneración se tiene la siguiente tabla elaborada a partir del trabajo de Gamma Ingenieros, que muestra valores actualizados a mayo de 2012 con índices de precios de producción para la industria, publicados por el U.S. *Department of Labor*<sup>76</sup>. Se seleccionan los índices correspondientes a la industria de generación eléctrica, al ser lo más próximo al escenario en estudio. El factor de corrección de valores para mayo de 2012, tomando como base enero de 2004, es de 116,7%.

**Tabla 4.6: Costos de inversión en plantas de cogeneración con turbinas a gas natural de distinto tamaño en mayo de 2012 (actualizados en base a valores año 2004).**

Equipo	Solar Taurus 60	2 Solar Taurus 60	2 Solar Mars 100
<b>Potencia eléctrica [kW]</b>	<b>5.376</b>	<b>10.752</b>	<b>20.878</b>
<b>Inversiones</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>
Grupo Turbina-Generador insonorizados	2.699.271	5.200.152	10.959.248
Sistema de generación de vapor	671.025	1.212.746	1.720.625
Compresor de gas	265.726	451.746	671.044
Sistema eléctrico de transferencia, control y sincronismo	204.692	369.005	397.102
Instalación suministros mecánicos y eléctricos	338.430	606.840	1.283.700
Obras civiles en ingeniería y administración	350.100	560.160	1.108.650
<b>Total instalado</b>	<b>4.529.244</b>	<b>8.400.650</b>	<b>16.140.369</b>
<b>Costo Unitario (US\$/kW)</b>	<b>842</b>	<b>781</b>	<b>773</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Gamma, 2004)

<sup>76</sup> Departamento "Bureau of labor statics". Se utiliza el "Producer Price Index" que mide la variación media en el tiempo de los costos en la industria de Estados Unidos, país de origen de los equipos analizados.

Se observa en la tabla 4.6 que el costo por [kW] instalado es decreciente con la potencia de la planta, hecho esperable por economías de escala. Se debe tener en consideración que los ítems de inversión detallados en la tabla 4.6 no aplican a todas las opciones de planta generadora de calor estudiadas, ya sea porque ya existen o porque no corresponden a la tecnología. En la tabla siguiente se muestran los ítems de inversión a considerar en cada caso (se agrega el ítem terreno).

**Tabla 4.7: Pertinencia de ítems de inversión según cada proyecto de central generadora de calor en estudio.**

Inversión	¿Pertinente al proyecto?		
	Recuperación de gases de escape central Tres Puentes	Central de cogeneración	Central generadora de calor
Grupo Turbina-Generador insonorizados	No	Si	No
Sistema de generación de vapor (1)	Si	Si	Si
Compresor de gas	No	Si	No
Sistema eléctrico de transferencia, control y sincronismo	No (2)	Si	No
Instalación suministros mecánicos y eléctricos	Si (3)	Si	Si(5)
Terreno	No	Si	Si
Obras civiles en ingeniería y administración	Si (4)	Si	Si (6)

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Se requiere un sistema de generación de agua caliente, no de vapor. Los sistemas de generación de agua caliente se asumen un 10% más económico en comparación al vapor.
- (2) Todo el sistema eléctrico está ya instalado. Se asume que inversión en control de generación de agua caliente está incluido en el ítem "instalación suministros mecánicos y eléctricos".
- (3) Se asume que el costo es sólo el 50% de lo detallado en la tabla (4.6). El otro 50% de la inversión se asocia a la instalación de las unidades generadoras, lo que ya está hecho
- (4) Se asume que el costo es sólo el 50% de lo detallado en la tabla (4.6). El otro 50% de la inversión se asocia a la instalación de las unidades generadoras, lo que ya está hecho.
- (5) Se asume que el costo es sólo el 50% de lo detallado en la tabla (4.6). El otro 50% de la inversión en tabla 13.31 se asocia a instalación de unidades generadoras y equipos eléctricos.
- (6) Se asume que el costo es sólo el 50% de lo detallado en la tabla (4.6). El otro 50% de la inversión en tabla 13.31 se asocia a instalación de unidades generadoras y equipos eléctricos.

Por otro lado, se debe interpolar por potencia eléctrica instalada la tabla 4.6, según cada caso a estudiar:

- **Recuperación de gases de escape de central Tres Puentes:** considerando que las turbinas Solar de la central Tres puentes presentan rendimientos eléctricos medios de un 30% para el factor de carga típico de 70%, además de una pérdida irrecuperable de energía del 5% (por lo que el 65% de la energía ingresada a la planta se transforma en calor) se estima que para satisfacer la demanda térmica de 32 [MWt] se deben instalar equipos de recuperación en unidades que totalizan 20,1[MWe] de generación eléctrica efectiva<sup>77</sup> (unidades 7 y 9. Ver detalles en tabla 3.45). **Se interpola usando 20,1[MW] de potencia eléctrica.**
- **Central de cogeneración:** Al proyectarse como planta de cogeneración en segundo escalón, se dimensiona considerando que la demanda máxima de calor del sistema

<sup>77</sup> Es decir, se instalan equipos de recuperación de calor acordes con la operación más frecuente de las turbinas de la central.

distrital se cubre con un factor de carga del 100% en las turbinas. Asumiendo que las turbinas tienen un rendimiento del 30%, y que un 5% de la energía es irrecuperable, se requiere la instalación de 17,4 [MWe] a fin de poder recuperar 32 [MWt] en calderas de agua caliente con un 85% de rendimiento. **Se interpola usando 17,4 [MW] de potencia eléctrica.**

- **Central generadora de calor:** se interpola en las inversiones que correspondan considerando como si se estuviera recuperando calor desde 17,4[MW] eléctricos (razonamiento y supuestos similares al punto anterior). **Se interpola usando 17,4 [MW] de potencia eléctrica.**

Puesto que las potencias consideradas en la interpolación están en el rango comprendido entre el proyecto “2 Solar Taurus 60” y “2 Solar Mars 100” (de tabla 4.6) se interpola cada ítem de inversión (excepto terreno que es constante) entre los valores de esos dos proyectos. Las funciones de interpolación lineal utilizadas son:

$$\textit{Grupo turbina – generador insonorizados: } I[\text{US\$}] = 568,74 \cdot P - 914.977,4 \quad (4.1)$$

$$\textit{Sistema de generación de vapor: } I[\text{US\$}] = 50,16 \cdot P + 673.469,4 \quad (4.2)$$

$$\textit{Compresor de gas: } I[\text{US\$}] = 21,65 \cdot P + 218.890,8 \quad (4.3)$$

$$\textit{Sistema eléctrico de transferencia, control y sincronismo: } I[\text{US\$}] = 2,78 \cdot P + 339.171 \quad (4.4)$$

$$\textit{Instalación suministros mecánicos y eléctricos: } I[\text{US\$}] = 66,84 \cdot P - 111.864,2 \quad (4.5)$$

$$\textit{Obras civiles en ingeniería y administración: } I[\text{US\$}] = 54,16 \cdot P - 22.238,2 \quad (4.6)$$

Donde, I es la inversión en [US\$] y P es la potencia eléctrica instalada en [kW].

Considerando los valores de la tabla 4.6, las pertinencias de cada ítem según la tabla 4.7 y las condiciones de interpolación detalladas anteriormente, se obtiene la tabla 4.8 con los costos asociados de inversión para cada proyecto en estudio.

**Tabla 4.8: Costos de inversión de proyectos de centrales de generación de calor.**

Proyectos de central de generación de calor:	Recuperación de gases de escape central Tres Puentes	Central de cogeneración	Central generadora de calor
<b>Potencia eléctrica a considerar [kW]</b>	<b>20.100</b>	<b>17.400</b>	<b>17.400</b>
<b>Inversión</b>	<b>[US\$]</b>	<b>[US\$]</b>	<b>[US\$]</b>
Grupo Turbina-Generador insonorizados	-	8.981.099	-
Sistema de generación de vapor	1.513.517	1.391.628	1.391.628
Compresor de gas	-	595.601	-
Sistema eléctrico de transferencia, control y sincronismo	-	387.456	-
Instalación suministros mecánicos y eléctricos	615.810	1.051.152	525.576
Terreno (1)	-	25.000	25.000
Obras civiles en ingeniería y administración	555.427	964.622	482.311
<b>Total Instalado</b>	<b>2.684.754</b>	<b>13.396.557</b>	<b>2.424.515</b>
<b>Costo unitario [US\$/kW]</b>	<b>134</b>	<b>770</b>	<b>-</b>

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Costo de terreno de 1[Ha] en barrio industrial. Con conexión a servicios de agua, gas natural y electricidad.

Se observa que el proyecto de cogeneración presenta una inversión de casi cinco veces en comparación a los otros dos proyectos. A pesar de esto, se debe recordar que el proyecto de cogeneración tiene una doble componente de ingresos, térmico y eléctrico, hecho que motiva su estudio. Comparando la inversión de los proyectos de recuperación de calor de la central Tres Puentes con el proyecto de central generadora de calor, se observa que en el caso del segundo proyecto la inversión es ligeramente inferior. Lo anterior puede parecer poco consistente con la percepción de que la planta de recuperación de calor requiere equipos y construcciones menores. Se explica por la diferencia de operación de ambos proyectos. La recuperación de gases es de primer escalón, por lo que se requieren equipos mayores para la generación de calor. La generación de calor, como su nombre lo indica, prioriza la generación de calor por lo que los equipos resultan más ajustados al requerimiento, son a la medida.

Es interesante señalar la existencia de un amplio mercado internacional de equipos de segunda mano. Estos equipos generalmente se encuentran en excelentes condiciones luego de un *overhaul* en la fábrica de origen. Los montos factibles de ahorrar hacen interesante investigar este mercado en estudios futuros.

#### 4.4. Costo de centrales de vivienda

Se detallan los costos de instalación por cada tipología de vivienda, así como por el total de viviendas de cada tipología.

Es importante mencionar que en visitas en terreno a los barrios y sectores seleccionados para el rango geográfico del estudio se pudo comprobar la existencia de viviendas con sistemas de calefacción central ya instalados. En tales casos los costos de incorporación al servicio de calefacción son significativamente menores. El hecho de no poder cuantificar la cantidad de hogares en esta situación obliga a considerar la instalación en todas las

viviendas. En estudios más detallados será necesaria la confección de un catastro de los hogares a fin de poder determinar de manera más exacta el monto total de la inversión.

Por último debe mencionarse que todos los valores eventualmente pueden ser diferentes a los detallados en este apartado. Se asume que los menores costos producto de una compra al por mayor de equipos se ven compensados con un mayor costo de transporte y/o la existencia de componentes menores que puedan estar quedando fuera del presente análisis.

#### 4.4.1. Costo de central de vivienda, casa Tipo

La tabla 4.9 detalla la multiplicidad y costo de los componentes necesarios para la instalación de la central de vivienda en una casa de tipología Tipo.

**Tabla 4.9: Inversión para implementación de central de vivienda en casa Tipo.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [US\$]	Valor total [US\$]
Intercambiador de calor Cipriani EXL 2A 10S DG	un.	1		513
Válvula de bola corte de red, 1" Fib Italy	un.	2	14,24	28,48
Calorímetro 3/4" Microclima	un.	1	375	375
Datalogger genérico	un.	1	100	100
Conexión a red pública de agua caliente	m	5	1,87	9,35
Cañería interior vivienda 2,62 [cm] diam. Int.	m	20	1,87	37,4
Radiadores EK 500.1800K	un.	1	103,68	103,68
Radiadores EK 500.3000K	un.	3	165,24	495,72
Válvulas de radiador unión eurocono	un.	4	5	20
Válvula de tres vías, 1"	un.	2	82	164
AACS Lapesa CV-200-M1 de 200[l]	un.	1	1506,6	1506,6
Termómetro de AACS	un.	1	12	12
Válvulas de bola, 1" Fiv Italy M. Corta	un.	2	14,24	28,48
Tanque de expansión 8 [lt]	un.	1	43	43
Bomba de circulación NOCCHI SR3, 104 [W]	un.	1	158	158
Mano de obra conexión a red distrital (1)	un.	1	350	350
Mano de obra instalación de central vivienda (1)	un.	1	400	400
Fittings varios (2)	un.	1	40	40
<b>Total</b>				<b>4.385</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Según informe de POCH 2009. Se convierte valor de mano de obra asumiendo 500 [\$/US\$].
- (2) Supuesto a partir de informe POCH 2009 usando proporcionalidad en el tamaño de las viviendas.

El costo de instalación de cada vivienda Tipo asciende al monto de US\$4.385.

#### 4.4.2. Costo de central de vivienda, casa Mejorada

La tabla 4.10 detalla la multiplicidad y costo de los componentes necesarios para la instalación de la central de vivienda en una casa de tipología Mejorada.

**Tabla 4.10: Inversión para implementación de central de vivienda en casa Mejorada.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [US\$]	Valor total [US\$]
Intercambiador de calor Cipriani EXL 2A 06S SE	un.	1		513
Válvula de bola corte de red, 1" Fib Italy	un.	2	14,24	28,48
Calorímetro 3/4" Microclima	un.	1	375	375
Datalogger genérico	un.	1	100	100
Conexión a red pública de agua caliente	m	5	1,87	9,35
Cañería interior vivienda 2,62 [cm] diam. Int.	m	20	1,87	37,4
Radiadores EK 500.1400K	un.	1	82,62	82,62
Radiadores EK 500.3000K	un.	3	165,24	495,72
Válvulas de radiador unión eurocono	un.	4	5	20
Válvula de tres vías, 1"	un.	2	82	164
AACS Lapesa CV-200-M1 de 200[l]	un.	1	1506,6	1506,6
Termómetro de AACS	un.	1	12	12
Válvulas de bola, 1" Fiv Italy M. Corta	un.	2	14,24	28,48
Tanque de expansión 8 [lt]	un.	1	43	43
Bomba de circulación NOCCHI SR3, 104 [W]	un.	1	158	158
Mano de obra conexión a red distrital (1)	un.	1	350	350
Mano de obra instalación de central vivienda (1)	un.	1	400	400
Fittings varios (2)	un.	1	40	40
<b>Total</b>				<b>4.364</b>

(Fuente: Elaboración propia)

(1) Según informe de POCH 2009. Se convierte valor de mano de obra asumiendo 500 [\$/US\$].

(2) Supuesto a partir de informe POCH 2009 usando proporcionalidad en el tamaño de las viviendas.

El costo de instalación de cada vivienda Mejorada asciende al monto de US\$4.364.

#### 4.4.3. Costo de central de vivienda, casa EE

La tabla 4.11 detalla la multiplicidad y costo de los componentes necesarios para la instalación de la central de vivienda en una casa de tipología Energéticamente Eficiente (EE).

**Tabla 4.11: Inversión para implementación de central de vivienda en casa EE.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [US\$]	Valor total [US\$]
Intercambiador de calor Cipriani EXL 2A 06S SE	un.	1		513
Válvula de bola corte de red, 1" Fib Italy	un.	2	14,24	28,48
Calorímetro 3/4" Microclima	un.	1	375	375
Datalogger genérico	un.	1	100	100
Conexión a red pública de agua caliente	m	5	2,42	12,1
Cañería interior vivienda 2,04 [cm] diam. Int.	m	20	1,2	24
Radiadores EK 500.0800K	un.	1	53,3	53,3
Radiadores EK 500.3000K	un.	2	165,24	330,48
Válvulas de radiador unión eurocono	un.	3	5	15
Válvula de tres vías, 1"	un.	2	82	164
AACS Lapesa CV-200-M1 de 200[l]	un.	1	1506,6	1506,6
Termómetro de AACS	un.	1	12	12
Válvulas de bola, 1" Fiv Italy M. Corta	un.	2	14,24	28,48
Tanque de expansión 8 [lt]	un.	1	43	43
Bomba de circulación NOCCHI SR3, 104 [W]	un.	1	158	158
Mano de obra conexión a red distrital	un.	1	350	350
Mano de obra instalación de central vivienda	un.	1	400	400
Fittings varios	un.	1	40	40
<b>Total</b>				<b>4.153</b>

(Fuente: Elaboración propia)

- (1) Según informe de POCH 2009. Se convierte valor de mano de obra asumiendo 500 [\$/US\$].
- (2) Supuesto a partir de informe POCH 2009 usando proporcionalidad en el tamaño de las viviendas.

El costo de instalación de cada vivienda EE asciende al monto de US\$4.153.

#### 4.4.4. Costo total de adaptación de suscriptores residenciales a la red

Considerados los tres apartados anteriores, inversiones unitarias por cada una de las tipologías de viviendas, y conocida la cantidad de viviendas de cada tipo en el alcance del estudio es posible calcular el monto total de inversión por concepto de adaptación a la red.

**Tabla 4.12: Inversión total para clientes residenciales de red de distribución de calor.**

Tipología de vivienda	Inversión unitaria [US\$]	Cantidad de viviendas	Total inversión [US\$]
Tipo	4.385	1.374	6.024.592
Mejorada	4.364	1.159	5.057.470
EE	4.153	81	336.429
<b>Total</b>			<b>11.418.491</b>

(Fuente: Elaboración propia)

Luego, como se observa en la tabla 4.12, el monto total de inversión para la incorporación de clientes residenciales asciende a US\$ 11.418.491.

Resulta interesante notar que las inversiones unitarias de las viviendas EE son las menores al requerir potencias de calefacción máximas menores en comparación a las demás tipologías de vivienda. Lo anterior repercute en una menor necesidad de potencia en radiadores, equipos significativos dentro del costo total de adaptación de una vivienda. El resto de componentes (tanque de expansión, bombas, cañerías, AACS) son muy similares o iguales entre tipologías de viviendas, lo que confirma la relevancia de los radiadores en las diferencias de montos de inversión.

Se debe notar en las respectivas tablas que una parte importante de la inversión por vivienda se debe a la adquisición del AACS. La generación de ACS representa un porcentaje menor en el consumo de calor de un suscriptor. Luego, como es alta la inversión y baja la demanda explicada por el servicio de generación de ACS se debe analizar el proyecto considerando un escenario **con AACS** y un mayor consumo de calor por este ítem y otro escenario **sin AACS** y un menor consumo de calor.

#### 4.4.5. Inversión total

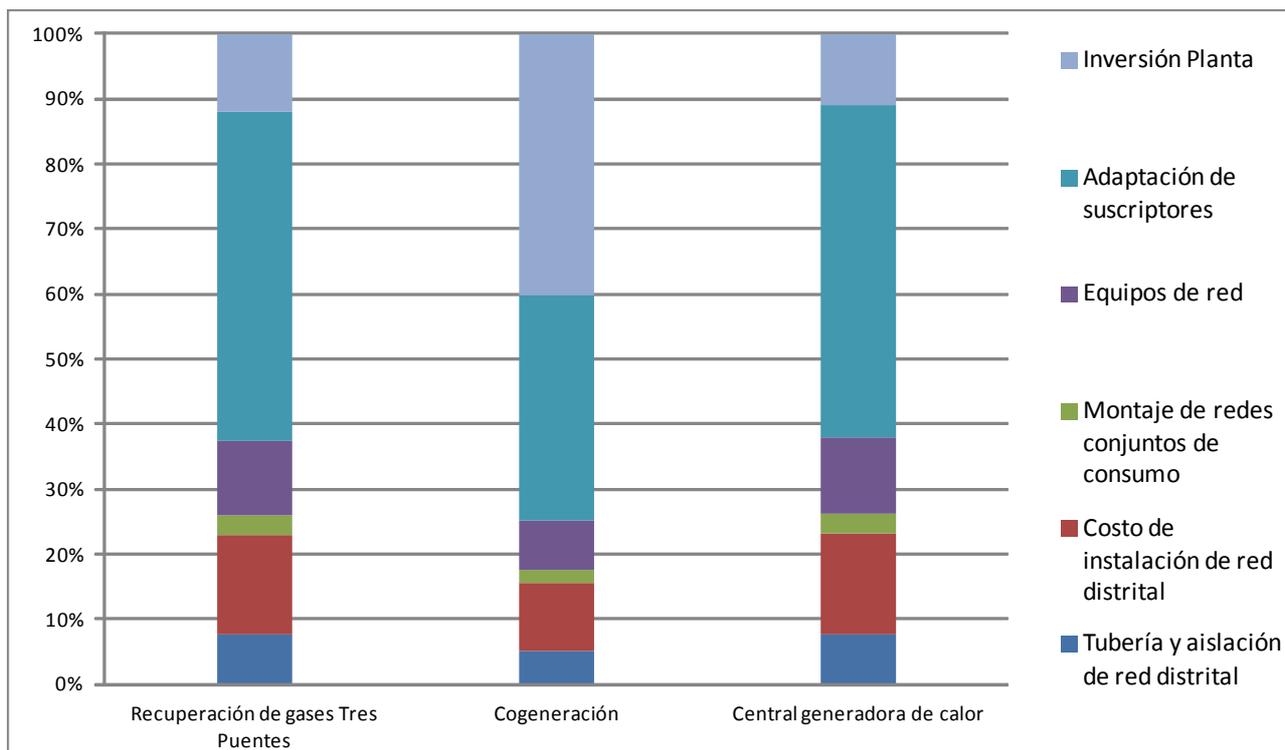
Del desglose de la inversión detallado en los puntos anteriores es posible obtener el monto de inversión total del sistema.

**Tabla 4.13: Inversión total de los proyectos.**

Ítem	Inversión del ítem [US\$]	
Tubería y aislación de red distrital		1.722.289
Costo de instalación de red distrital		3.459.757
Montaje de redes conjuntos de consumo		665.252
Equipos de red		2.580.263
Adaptación de suscriptores		11.418.491
<b>Total</b>		<b>19.846.051</b>
Opciones de Planta Generación Calor	Inversión Planta	<b>Inversión Total del Proyecto</b>
Recuperación de gases Tres Puentes	2.684.754	<b>22.530.805</b>
Cogeneración	13.396.557	<b>33.242.609</b>
Central generadora de calor	2.424.515	<b>22.270.566</b>

(Fuente: Elaboración propia)

Resulta interesante observar el porcentaje que representa cada ítem en la inversión de cada proyecto estudiado. Lo anterior se observa en la figura 4.1.



**Figura 4.1: Porcentajes de inversión por ítem para cada proyecto en estudio.**

(Fuente: Elaboración propia)

## 4.5. Modelo de negocios de sistema de calefacción distrital

En el presente apartado se describe y detalla “la lógica de cómo se crea, entrega, y captura valor”<sup>78</sup>, es decir, el modelo de negocios del controlador del servicio de calefacción distrital. El modelo de negocios estará determinado por el entorno en que se desarrolla, por lo que se introduce el capítulo con un análisis previo de entorno mediante las herramientas de análisis PEST y las cinco fuerzas de Porter. Con esto se cumple la secuencia “Mirar, innovar”.

### 4.5.1. Análisis previo

Es necesario detallar los factores del entorno global en donde se pretende llevar a cabo la generación de valor, a fin de determinar el cómo lograrlo. Para esto se utiliza la herramienta de análisis PEST a fin de desarrollar de manera ordenada las cuatro dimensiones principales del entorno del negocio: escenarios políticos, económicos, sociales y tecnológicos. Con esto es posible comprender el crecimiento, el potencial y la dirección de la industria. Una vez desarrollado lo anterior, se analiza la industria mediante el estudio de

<sup>78</sup> Osterwalder y Pigneur, 2010.

las cinco fuerzas de Porter a fin de conocer las oportunidades, dificultades o potenciales del mercado energético.

Se concluye el presente apartado de análisis previo con la selección de la tecnología, dentro de las consideradas en la evaluación técnica, más adecuada o factible para el desarrollo de un negocio.

## Análisis PEST

Hay que notar que diversos puntos atinentes a las distintas dimensiones del análisis PEST se encuentran ya abordados en el capítulo de antecedentes del presente informe (principalmente en capítulo 2, Antecedentes generales). Es por esto que en este capítulo se recopilan de forma condensada y ordenada dichos antecedentes, además de añadirse aquellos que sean de interés para el análisis de entorno.

### Dimensión política

Organismos relacionados y labores asociadas

El Ministerio de Economía de Chile, a través de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)<sup>79</sup> supervigila el mercado energético de Chile (principalmente electricidad y combustibles). Las labores de la SEC quedan bien definidas a través de sus lineamientos estratégicos<sup>80</sup>:

- Fiscalizar cumplimiento de normativa vigente.
- Mantener actualizada la normativa técnica de acuerdo a las variaciones del sector.
- Transparentar información sobre el mercado y sus agentes.
- Educar a los usuarios y promover sus derechos.

Se desprende que las labores de la SEC claves para la industria son la entrega de de concesiones eléctricas (generación, transmisión y distribución), fiscalización de cumplimiento de condiciones normativas, legales y de seguridad (y sancionar si es el caso), resolución de eventuales conflictos y arbitrio frente a fallas en el servicio y reclamos.

Por otro lado es tarea de la Comisión Nacional de Energía (CNE), también dependiente del ministerio de Economía, el manejo de las políticas sectoriales y normas asociadas al sistema energético nacional. La CNE está compuesta por seis grandes áreas, de las cuales cuatro tienen influencia en el área energética nacional (se describen a continuación) y las otras dos son de carácter interno del organismo<sup>81</sup>:

- **Área eléctrica:** Diseño y promoción de normativas. Regulación de precios según la ley (precio nudo ó PN y valor agregado de distribución ó VAD). Elabora previsiones de demanda del país.

---

<sup>79</sup> Ley N° 18.410 del 22 de mayo de 1985.

<sup>80</sup> Planificación estratégica 2006 – 2012. Superintendencia de electricidad y combustibles. Departamento Secretaría general, Superintendencia de Electricidad y combustibles.

<sup>81</sup> <http://www.cne.cl/institucional/areas-de-trabajo> (consultado el 11 de julio de 2012)

- **Área hidrocarburos:** Generación de marco regulatorio. Estudio de marco técnico y elaboración de proyecciones de demanda. Determinación de precios de paridad de importación y generación de recomendaciones de inversión de organismos públicos afines (ej. Enap).
- **Área jurídica:** Asesoría en sus funciones de todos los organismos de la CNE acorde con el marco legal vigente. Ejecución de leyes, reglamentos y decretos que regulan el actuar de la CNE como persona jurídica de derecho público.
- **Área de regulación económica:** Apoyo en la generación de políticas y normativas tarifarias del sector energético. Elaborar estudios a fin de diagnosticar y predecir el comportamiento del mercado nacional. Proposición de mejoras al marco regulatorio desde el punto de vista de oportunidades económicas.

Se desprende que las labores de la CNE claves para la industria son la creación, estudio y modificación del sistema energético en que el proyecto existiría (en toda su amplitud: legal, económica y técnica).

Un organismo público relevante dentro del marco energético del país, y en particular de cómo se utiliza la energía, es la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), que tal como se describe en su sitio web<sup>82</sup>, *“es una fundación de derecho privado, sin fines de lucro, cuya misión es promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía articulando a los actores relevantes, a nivel nacional e internacional, e implementando iniciativas público privadas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable del país. La AChEE cuenta con un directorio conformado por representantes del Ministerio de Energía, Ministerio de Hacienda y de la Confederación de la Producción y el Comercio.”*. Un proyecto que tenga su razón de ser en el uso eficiente de la energía se puede ver eventualmente beneficiado o apoyado por acciones que pueda tomar la AChEE. Un ejemplo claro es el llamado efectuado en el primer semestre de 2012 para la postulación de anteproyectos de cogeneración industrial a nivel nacional en donde la AChEE aportará con apoyo económico para las labores de ingeniería de los proyectos adjudicados.

Otro agente de interés es la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). El papel que juega dentro del mercado energético de la región es el descrito en el apartado 2.2.1. La empresa estatal es la encargada del suministro de subsidios en la tarifa de consumo residencial de gas natural.

Como es sabido, todo proyecto que implique la generación y distribución de energía (de cualquier especie) conlleva impacto en el medio ambiente. Lo anterior es regulado mediante el sustento del Ministerio de Medio Ambiente y la CONAMA. De estos organismos depende la correcta operación del proyecto, así como la previa evaluación de su impacto. Acá resulta fundamental mencionar la exigencia de realización de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para aquellos proyectos de generación energética cuya potencia sea superior a los 3 [MW]. La instalación de la red eventualmente requerirá una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Las regulaciones ambientales pueden obligar a la compra, por parte de nuevos operadores energéticos emisores de contaminantes, de cupos

---

<sup>82</sup> <http://www.acee.cl/576/propertyvalue-12848.html> (consultado el 11 de julio de 2012)

de MP, NOx u otros gases con valores que pueden alcanzar entre un 10 y un 20% de la inversión del proyecto<sup>83</sup>.

A nivel local, el municipio de Punta Arenas regula el desarrollo de nuevos proyectos bajo su normativa de ordenanza de construcción y plano regulador (apartado 3.2.3).

#### Situación política

Dentro del documento “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030” desarrollado por el Gobierno de Chile se detallan los 4 lineamientos a seguir en los próximos 18 años en materia de desarrollo energético (figura 3.2). El documento deja en claro que la cogeneración es una opción viable y deseable al momento de pensar en la diversificación de la matriz energética nacional.

Se establece la necesidad de una visión a largo plazo en el desarrollo y diversificación de la matriz energética. En ese sentido la Ley N° 20.571 promulgada el 22 de febrero de 2012 obliga a los distribuidores eléctricos a comprar energía a generadores residenciales de hasta 100 [kW] de potencia instalada. Por otro lado, los transmisores eléctricos tienen obligatoriedad de prestar el servicio de transporte para que terceros den suministro a usuarios no sometidos a regulación<sup>84</sup>.

Por otro lado, las acciones emprendidas por las autoridades como reacción al denominado “Conflicto del gas” de enero de 2011 pueden ser vistas en el apartado 2.3. La repercusión principal del hecho, sumado al movimiento ciudadano de Aysén (entre febrero y marzo de 2012), es la suma sensibilización del gobierno frente a demandas ciudadanas en zonas extremas del país.

No deja de ser interesante para comprender la situación política en la región mencionar que tres autoridades elegidas democráticamente son independientes (Senador C. Bianchi, diputado M. Marinovic y el alcalde V. Mimica).

### **Dimensión económica**

#### Estructura y situación de mercado

La situación económica en que se desenvuelve la población objetivo del proyecto se detalla en el apartado 2.1.2. Destaca el hecho de que el ingreso per cápita es de los mayores en el país con un promedio de \$318.435. Se observa en el Anexo B que los barrios en estudio presentan altos porcentajes de pertenencia en los quintiles de ingresos superiores.

En materia del mercado energético, los volúmenes de consumo comprometidos en la operación anual de la región se detallan en el apartado 2.2.1. (Combustibles) y 2.2.2. (Eléctrico). Se observa que el consumo energético, tanto eléctrico como térmico, es creciente a lo largo de los años, además de la existencia de una marcada estacionalidad del consumo a lo largo del año.

---

<sup>83</sup> Gamma, 2004. Lo anterior es independiente de los eventuales ahorros en emisión de contaminantes de actividades mitigadas o eliminadas con el proyecto (generación eléctrica y/o calefacción domiciliaria).

<sup>84</sup> Artículo 115° de DFL N° 4 de 2007.

Se destaca la existencia de agentes relevantes en el mercado energético de la región:

- Edelmag S.A.: Controlador exclusivo del sistema eléctrico de la región de Magallanes (Punta Arenas, Puerto Natales, Porvenir y Puerto Williams) en las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Pertenece al grupo CGE.
- Gasco Magallanes: Distribuidor de gas natural en la región por concesión. Proveedor de Edelmag S.A. Proveedor único de gas natural domiciliario e industrial. Pertenece al grupo CGE.
- Enap: Encargado de administrar CEOP (apartado 2.2.1.) y subvenciones. Importador, extractor y refinador de combustibles fósiles en la región.
- Methanex S.A.: Principal consumidor de gas natural en la región. Trato directo con Enap para suministro de materias primas.

Es decir, existe un monopolio natural en el sistema eléctrico (Edelmag S.A.)<sup>85</sup> y en la distribución del gas natural (Gasco Magallanes), un consumidor de gas natural de suma relevancia (Methanex) y por último el agente proveedor de gas natural en la región (Enap). A pesar de que Edelmag S.A. y Gasco Magallanes pertenecen al grupo CGE, es válido para el análisis considerarlos como empresas que velan por los intereses de sus propios accionistas, que es lo que se espera en la práctica. La siguiente tabla resume las relaciones existentes entre agentes o condiciones desde una perspectiva de la organización industrial del mercado energético magallánico.

**Tabla 4.14: Relaciones entre agentes principales en mercado energético de la XII región.**

Agente	Condición del agente	Depende de:	Determina a:
Edelmag S.A.	Monopolista eléctrico	Gasco Magallanes	Gasco, al ser cliente importante.
Gasco Magallanes	Monopolista en distribución de gas natural	Enap	Edelmag, como proveedor principal de insumos.
Enap	Controlador exclusivo de importación, refinación y extracción de combustibles	Administradores de CEOP, proveedores argentinos	Methanex y Gasco Magallanes, como proveedor de insumos.
Methanex	Consumidor mayoritario de energético primario	Enap	Mercado energético regional, al representar un 70% de la demanda de gas natural.

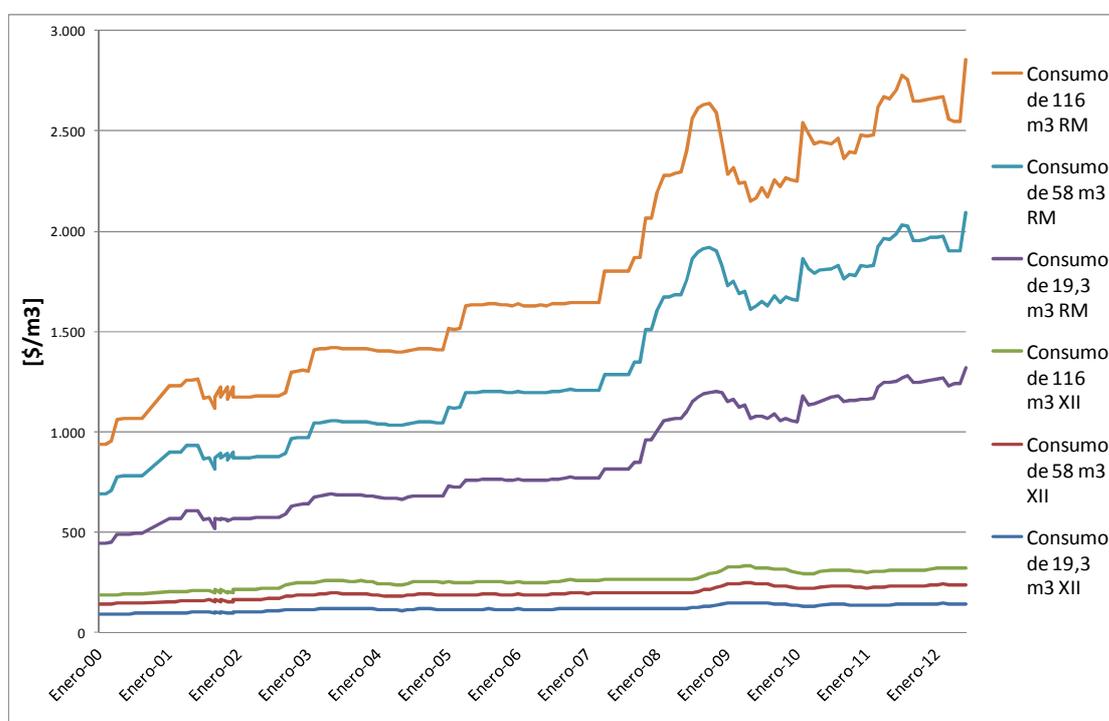
(Fuente: Elaboración propia)

<sup>85</sup> “A nivel de distribución eléctrica, la regulación en Chile todavía permite la superposición de concesiones, o sea, la existencia de más de un distribuidor en una misma área geográfica. Aún más, en la década de los ochenta esto se fomentó” (Paredes R., Vatter J.. “Desafíos de la regulación en Chile”).

Un ejemplo que da cuenta de la situación de interacción entre agentes es el proyecto de recambio de ampolletas impulsado por Methanex. El proyecto consiste en la sustitución de 60.000 ampolletas convencionales por ampolletas eficientes en 7.500 hogares de la ciudad. El interés de Methanex en lo anterior responde a la lógica siguiente<sup>86</sup>: a menor consumo eléctrico en hogares menor es el requerimiento de generación para Edelmag, a menor generación de Edelmag menor consumo de gas natural provisto por Gasco, a menor consumo de gas natural de Gasco menor cuota entregada por Enap para la distribución, y por último, a menor cantidad de gas entregado a Gasco por Enap, mayor cantidad de gas suministrable a Methanex (que de por sí adquiere un volumen menor al estipulado en contratos, ver apartado 2.2).

#### Sistema de precios

En primer lugar es interesante observar la evolución de los precios de distribución del energético primario, el gas natural, para tres rangos de consumo.



**Figura 4.2: Evolución del precio del gas natural residencial (1) en RM y XII región.**

(Fuente: elaboración propia en base a estadísticas de CNE)

(1) Incluye costos fijos y cargos por servicio, lo que determina las diferencias entre los rangos de consumo en Magallanes.

En la figura 4.2 se incluye el historial de precios de la RM a fin de destacar la enorme diferencia en los precios del gas natural distribuido general<sup>87</sup> entre la RM y la XII región. Para todos los tramos de consumo el precio actual en la RM es de aproximadamente 10

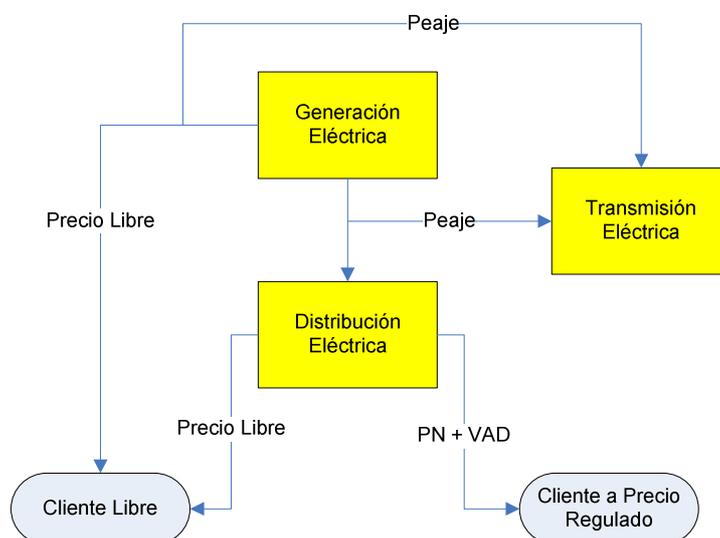
<sup>86</sup> Entrevista con Alfredo Olgúin, anexo F.

<sup>87</sup> Como denomina el reglamento N° 67, artículo 8, a los suscriptores cuyo consumo promedio se encuentre bajo los 100 [GJ] o su equivalente en [m<sup>3</sup>s],

veces el costo en la XII región. Se observa en el precio en la RM la influencia del corte del gas de Argentina.

La Ley de servicios de gas<sup>88</sup> establece que los precios de combustibles líquidos y gaseosos son libres en todo Chile, a excepción de la XII región en donde éstos son regulados<sup>89</sup>. Los precios del gas natural distribuido (a partir de enero de 2011) son reajustables de acuerdo al IPC (apartado 2.3). Se debe tener siempre presente que fueron los anuncios de variación en el precio del gas natural lo que gatilló el conflicto del gas. Frente a eventuales agotamientos de reservas de gas natural en la región los precios podrían alcanzar los niveles del resto del país.

Por otro lado los cargos por servicios eléctricos se encuentran regulados por CNE y se aplican a los agentes tal como muestra la figura siguiente.



**Figura 4.3: Estructura de precios en mercado eléctrico chileno.**

(Fuente: Elaboración propia)

La figura 4.3 muestra las tarifas y precios comprometidos en la prestación de servicio eléctrico (por concesionarios eléctricos<sup>90</sup>, representados con figuras amarillas) a los clientes (figuras ovaladas). Los clientes pueden ser libres (potencia instalada superior a los 2[MW]) o regulados (potencia instalada bajo los 2[MW])<sup>91</sup>. En el caso de los clientes regulados la tarifa consiste en el precio nudo<sup>92</sup> (PN) más el cargo de valor agregado de distribución<sup>93</sup>

<sup>88</sup> Decreto con Fuerza de Ley N° 323 del 30 de mayo de 1931.

<sup>89</sup> DFL N° 323, Título V, párrafo II, artículo 34°.

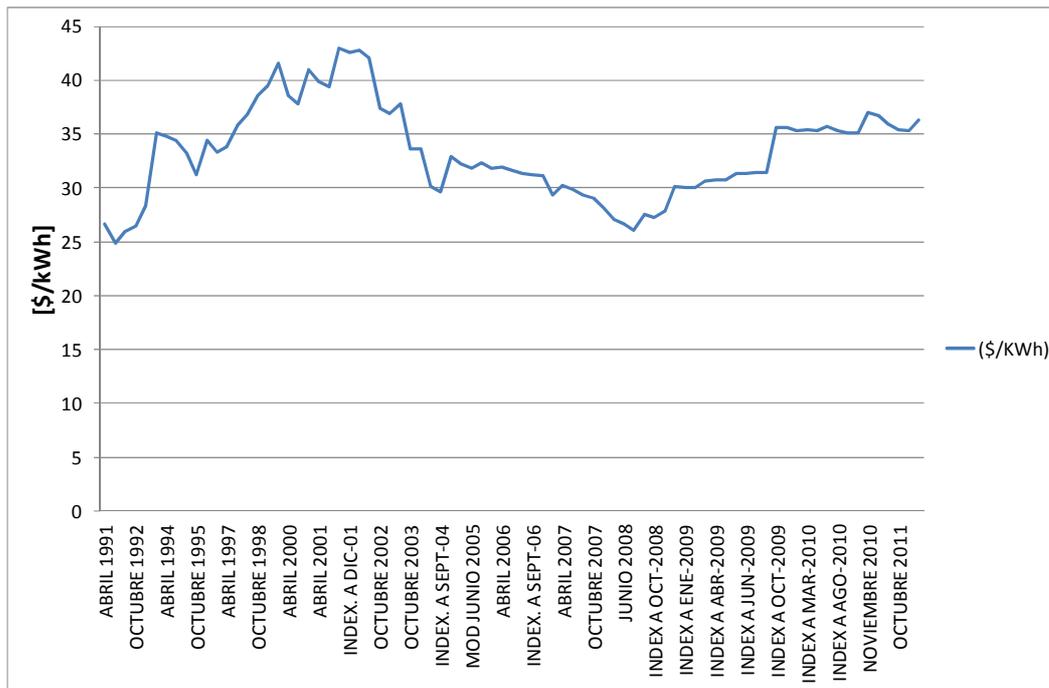
<sup>90</sup> “El otorgamiento de concesiones en distribución eléctrica, telecomunicaciones y distribución de gas es un mecanismo por el cual el Estado entrega la iniciativa de la provisión, uso y goce de un determinado bien al sector privado, siendo el Estado el contralor de las normativas técnicas y económicas.” (Paredes, R. “Privatización y regulación: Lecciones de la experiencia chilena”). Se debe señalar que en caso de deficiencias en la prestación del servicio la concesión puede ser revocada mediante un Decreto Supremo emitido por el Presidente de la República (DFL N° 4 de 2007, artículo 41°).

<sup>91</sup> Artículo 147° de DFL N° 4 de 2007.

<sup>92</sup> Correspondiente al promedio de precio en el largo plazo de producción de electricidad en el sistema. El sistema de Punta Arenas, al estar clasificado como mediano (potencia instalada entre 1,5 y 200[MW], según

(VAD), ambos precios regulados por la CNE. En el caso de los clientes libres se tiene una estructura de precios libre bajo la figura de un contrato negociado de manera directa entre el cliente y el distribuidor ó generador<sup>94</sup>. El transmisor eléctrico cobra peajes por uso de redes eléctricas en alta tensión, cuyos montos se encuentran también regulados.

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran la evolución de los precios nudo en energía y potencia respectivamente.

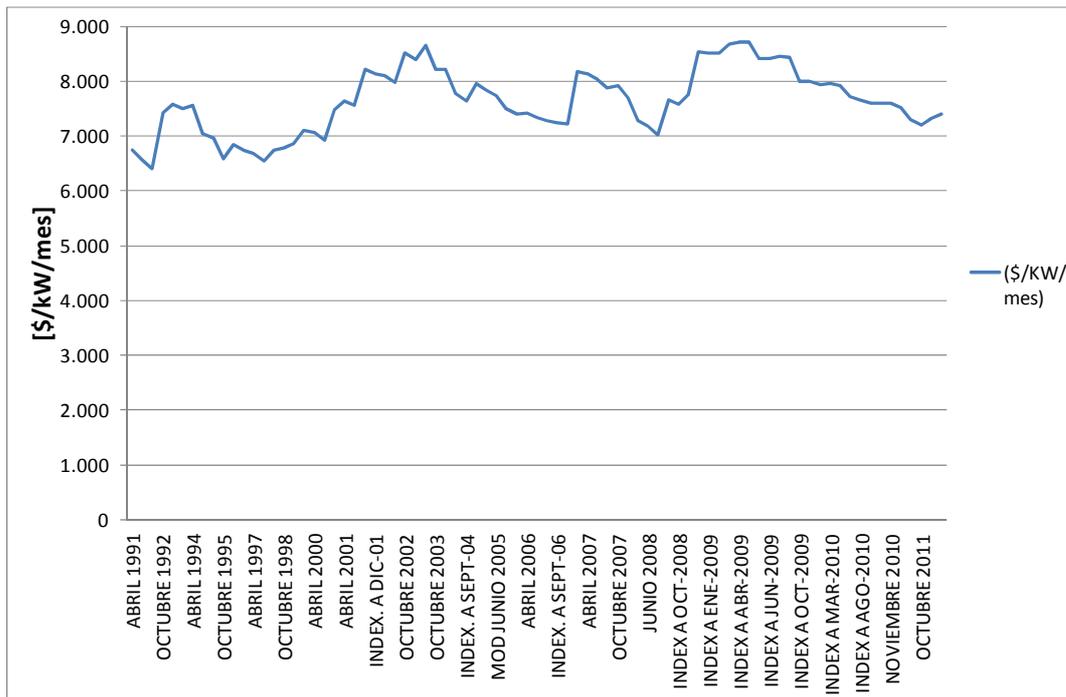


**Figura 4.5: Evolución del precio nudo de energía eléctrica en Punta Arenas**  
(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE)

artículo 173° de DFL 4 de 2007), tiene los precios de nudo de energía y potencia regulados para las actividades de generación y transmisión. La vigencia de las tarifas reguladas es de cuatro años.

<sup>93</sup> Tarifas de la XII región publicadas en abril de 2009 con vigencia hasta noviembre de 2012.

<sup>94</sup> El espíritu de la normativa era lograr que los grandes consumidores pudieran acceder a mejores precios. En la práctica lo anterior no ocurre por la posición de monopolio natural de los distribuidores eléctricos en el país. En el caso de un contrato entre cliente libre y generador que no cuente con medios de transmisión de energía, el distribuidor debe aplicar un VAD de tal forma que el cliente libre vea una tarifa igual a la de los clientes regulados (artículo 115° de DFL 4 de 2007).



**Figura 4.6: Evolución del precio de potencia eléctrica en Punta Arenas.**

(Fuente: Elaboración propia, en base a CNE)

En el caso de la energía eléctrica, figura 4.5, se observan variaciones de precio nudo propias de la estacionalidad sumadas a una leve alza en el tiempo. Ocurre algo similar con la tarifa por potencia, figura 4.6. Las tarifas de peaje de transmisión no aplican al haber un único controlador eléctrico.

A nivel de costo del gas natural residencial (consumo mensual por debajo de los 25.000 [m<sup>3</sup>]), éste tiene un valor del 70,66 [\$/m<sup>3</sup>]<sup>95</sup>, siendo la diferencia en el precio de distribución, un 29.6% del total, absorbida por Enap. Se debe mencionar que el umbral de consumo residencial es tan alto que consumidores públicos como centros comerciales u hospitales acceden a las tarifas subsidiadas.

### Dimensión social

El mercado regionalismo de los habitantes de Punta Arenas se refleja en sus costumbres propias<sup>96</sup> y vocabulario<sup>97</sup>. El fenómeno es explicable por las distancias geográficas y el

<sup>95</sup> A julio de 2012, el valor del gas natural publicado por Gasco Magallanes es de 100,3822 [\$/m<sup>3</sup>] y 70,6679 [\$/m<sup>3</sup>] bonificado (bajo 25.000 [m<sup>3</sup>]).

<sup>96</sup> Ejemplos son la alta sintonía de canales de televisión y estaciones de radio regionales, la realización de las “Jornadas por el niño impedido magallánico” que recaudan aproximadamente cinco veces más que la Teletón o los diversos movimientos ciudadanos cuyos orígenes se remontan al año 1910. Otro ejemplo es que la bandera regional debe ser izada, de manera obligatoria por ordenanza del gobierno regional, en las festividades de la región.

<sup>97</sup> Por ejemplo, el uso de “nortinos” para referirse a personas ajenas a la región o también el uso de expresiones argentinas como “gomería” (recauchadora de neumáticos) o “birome” (bolígrafo o lápiz pasta).

aislamiento terrestre de la región. La existencia de diversas corrientes migratorias en la región, destacando la colonia croata, también tiene implicancia en esto.

Características demográficas de la población se detallan en el apartado 2.1.2. Así mismo, los porcentajes de pertenencia a los quintiles superiores y la distribución de población en las cuadras de los barrios (diferenciados por hombres y mujeres) pueden ser vistos en el anexo B. La escolaridad mayoritaria de los jefes de familia en los barrios del proyecto<sup>98</sup> ronda entre los 12 y los 19 años, es decir, entre escolaridad completa y estudios superiores completos. En el caso de la población Cardenal R. Silva H. se observan sectores donde la escolaridad está en el rango entre los 8 y 12 años, es decir, educación media incompleta.

Las condiciones climáticas de la ciudad de Punta Arenas dificultan las actividades al aire libre. De manera similar, la variabilidad durante el año de las horas de luz natural producto de la latitud, determinan comportamientos horarios particulares de la ciudad. Los puntos anteriores repercuten en un alto porcentaje de vida hogareña en el tiempo libre de los magallánicos. En los sectores más populares, por ejemplo la Villa Cardenal R. Silva H., la figura de la “Cocina Magallánica” (apartado 2.4.1.) cumple el rol de ser el lugar de encuentro familiar al permitir cocinar y calefaccionar a la vez. Por otro lado, sistemas más saludables y de mayor confort (como la calefacción central) son percibidos como objetos aspiracionales y de valor. A pesar de esto último, no se ve tendencia al cambio en la forma en que los magallánicos calefaccionan su hogar.

### Dimensión tecnológica

En el apartado 2.4.1 se pueden ver las tecnologías actuales de calefacción domiciliaria en la región. La eficiencia en el uso de combustibles es regular<sup>99</sup>, al mismo tiempo que los tipos de calefactores más utilizados no resultan saludables. En la actualidad la Agencia chilena de eficiencia energética se encuentra desarrollando un plan de recambio de 2.000 calefactores a gas natural en sectores de escasos recursos. La finalidad es cambiar los actuales calefactores por más eficientes a fin de disminuir el consumo de gas. Según Gamma (2012) lo anterior resulta menos eficiente que el mejoramiento de la envolvente de las viviendas.

La presencia de tecnología menos desarrollada, como las cocinas magallánicas, se encuentra expandida en sectores populares a pesar de su baja eficiencia y alto nivel de emisiones intra domiciliaria. Calefacción por combustión de biomasa, kerosene o uso de electricidad para calefacción es escasa, por lo que el proveedor exclusivo de combustible de calefacción es Gasco Magallanes.

En el apartado 3.4.2 se detalla la tecnología de generación eléctrica en Punta Arenas. La generación en centrales térmicas de ciclo abierto resulta compatible con la recuperación de gases de escape o la implementación de ciclo combinado<sup>100</sup>. Una eventual instalación de

---

<sup>98</sup> Ministerio de Vivienda y Urbanismo, según información de Censo 2002. Disponible en [www.observatoriourbano.cl](http://www.observatoriourbano.cl).

<sup>99</sup> Del orden de un 75%, Gamma 2012.

<sup>100</sup> Proyecto en estudio en junio de 2012.

ciclo combinado no descarta al proyecto de calefacción distrital, al ser estos proyectos potencialmente complementarios.

Puesto que existe incertidumbre acerca de las reservas de gas natural, sumado a la existencia de reservas de carbón en la región (apartado 2.2.1.) se han analizado estudios de diversificación de la matriz energética pensando en ese combustible. Lo anterior requeriría la instalación de todo un sistema de transporte de combustible, además de la incorporación de nuevas centrales termoeléctricas equipadas con turbinas a vapor. En tal caso, tampoco se podría descartar la incorporación del sistema de calefacción distrital.

La descripción de la tecnología requerida para el sistema de calefacción distrital, así como también otras opciones, está detallada en el capítulo 3. A pesar de que en el país no existe experiencia en tecnologías de calefacción distrital como un conjunto, las componentes que lo conforman cuentan con tecnologías maduras y con un mercado desarrollado a nivel nacional. Si existen antecedentes de estudios de calefacción distrital en el país. Los únicos antecedentes de cogeneración a nivel nacional corresponden a industrias de alimentos en la región metropolitana cuyos tamaños están muy por debajo del propuesto en el proyecto<sup>101</sup>.

Se debe mencionar que a nivel internacional la tecnología de calefacción distrital es absolutamente madura, teniéndose como antecedente, por ejemplo que el sistema de calefacción urbano de la ciudad de Nueva York se remite al año 1882<sup>102</sup>. Países como Dinamarca, Islandia o Suecia cuentan con amplio desarrollo de la tecnología<sup>103</sup>.

Las tecnologías de cogeneración y calefacción distrital están alineadas con los proyectos de desarrollo de matriz energética, mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía y la disminución de emisión de contaminantes.

## Análisis de Cinco Fuerzas de Porter

Se analiza la rentabilidad de la industria a través del modelo propuesto por Michael Porter en 1979. El modelo establece que dentro de los mercados interactúan cinco fuerzas: amenaza de entrada de nuevos competidores, poder de negociación de los proveedores, poder de negociación de los compradores y amenaza de ingreso de productos o servicios sustitutos, las que sumadas determinan la quinta fuerza correspondiente a la rivalidad entre competidores. Cada fuerza influye en el mercado de acuerdo a una de las tres medidas de evaluación: bajo, medio y alto.

Se analiza el mercado energético, tanto eléctrico como térmico, como un todo puesto que son conocidas las inter relaciones existentes entre los agentes del mercado (tabla 4.14).

---

<sup>101</sup> Watt's (dos motores Diesel totalizando 2,9[MWe] de potencia) y Nestlé-Savory (turbina de 1[MWe] de potencia).

<sup>102</sup> Actualmente provee de calefacción a aproximadamente 100.000 suscriptores en el sector de Manhattan. La tecnología escogida es la de vapor saturado. En la actualidad el controlador es la empresa *Consolidated Edison*.

<sup>103</sup> Griffiero, 2012.

## Amenaza de nuevos competidores

En el mercado eléctrico las barreras de entrada son altas por los montos de inversión, las dificultades técnicas del negocio y el control de organismos públicos mediante permisos. Si bien las concesiones eléctricas nunca son de carácter exclusivo para cada área de operación, los puntos anteriores en la práctica repercuten en monopolios naturales de los operadores eléctricos. Es la situación de la región de Magallanes.

La ley 20.571 del año 2012 obliga a los distribuidores eléctricos a adquirir energía eléctrica a generadores de hasta 100[kWh] de potencia, a fin de disminuir en parte los monopolios al mismo tiempo que se impulsan métodos de generación más eficientes y/o renovables. No existe ningún reglamento que obligue a los distribuidores a adquirir energía a generadores por sobre esa potencia, y que al mismo tiempo genere incentivos económicos para los clientes.

La potencia instalada por Edelmag es capaz de cubrir de manera satisfactoria la demanda máxima de la ciudad<sup>104</sup>, por lo que cualquier instalación de generación eléctrica nueva resultaría redundante. Los precios regulados impiden el ingreso de nuevos competidores a la industria, sobre todo considerando que tendrían que pagar costos de transmisión<sup>105</sup>. Los precios regulados tampoco hacen atractivo un mercado de servicios percibidos como *comodities* por parte de los clientes.

En el caso del mercado térmico, la conversión de la matriz de gas natural para un nuevo combustible base presentaría enormes costos de inversión y dificultades técnicas (sobre todo al momento de su uso domiciliario). Resulta muy poco esperable el reemplazo del gas natural como combustible básico de calefacción. Gasco está en la posición de ser el concesionario, es decir el único responsable, de la distribución de gas natural en Punta Arenas.

La existencia de sólo dos agentes relevantes en el mercado de la distribución energética dificulta el ingreso de un tercero al negocio de la electricidad y/o de la calefacción. Incluso, también se dificultaría la diversificación de estos mismos agentes. Lo anterior por la existencia de contratos de suministro entre Edelmag y Gasco. Se tienen los siguientes escenarios esperables:

- Entrante cogenerador: Amenaza para los dos operadores actuales en sus respectivos mercados. Barreras en la transmisión y distribución de electricidad. Poco probable relación favorable con Gasco puesto que representa amenaza a su negocio.
- Entrante generador de calor: Competidor de Gasco, quien a su vez sería proveedor del energético primario.
- Edelmag desea recuperar sus gases de escape (la misma Edelmag opera el sistema o un tercero compra el calor): Gasco puede verse vulnerado en su negocio por lo que puede cambiar las condiciones en su relación de provisión de gas para la generadora

---

<sup>104</sup> Con una holgura del 50% frente a la demanda máxima del sistema, Memoria Anual 2011, Edelmag S.A.

<sup>105</sup> Además, un nuevo generador debe conectarse por sus propios medios a la línea de transmisión ya existente, lo que eventualmente puede requerir tramitar una concesión de transporte de energía.

en periodos siguientes (se debe considerar que Edelmag necesita más a Gasco que Gasco a Edelmag).

- Gasco opera sistema de calefacción distrital (por planta generadora de calor o mediante recuperación de gases): Improbable al no existir incentivos de importancia a su situación actual; apuntaría, previa inversión fuerte, a clientes que ya tiene cautivos.

Por otro lado, al no haber subsidio del gas para consumos por sobre los 25.000 [m<sup>3</sup>], los costos del operador pueden no ser competitivos con la combustión particular de gas natural para calefacción, considerando además pérdidas por transmisión de calor, energía consumida en bombeo y gastos en administración del servicio.

Por todo lo anterior la amenaza de un nuevo competidor es muy baja, o si se prefiere, las dificultades de entrada al mercado son muy altas.

### **Amenaza de productos o servicios sustitutos**

Pensar en un sustituto para el servicio eléctrico no es razonable, a menos que se considere que la electricidad se pueda generar a partir de fuentes renovables, en cuyo caso el servicio eléctrico tendría el atributo de “verde”, muy valorado por los consumidores<sup>106</sup>. Las condiciones geográficas de la región y escasa disponibilidad de biomasa dificultan lo anterior. Por otro lado, esperar un servicio diferenciado por precio resulta improbable dada la estructura del mercado eléctrico en la XII región.

En el caso de la calefacción, si bien es difícil el ingreso de nuevas tecnologías por montos de inversión (intervención domiciliaria, reemplazo de equipos<sup>107</sup>, etc.) existen motivaciones que eventualmente pueden generar interés en la masificación de la calefacción central o distrital (eficiencia, condiciones sanitarias, de cobertura en vivienda, agotamiento de gas natural, etc.).

Aspectos culturales y de costumbres dificultan la penetración de tecnologías distintas al calefactor a gas.

La amenaza de aparición de productos o servicios sustitutos a los actuales es baja.

### **Poder de negociación de los proveedores**

Resulta interesante volver a ver la tabla 4.14.

El control absoluto de la provisión del energético primario de la región lo tiene Enap, tanto en cantidad como en precio<sup>108</sup>. Enap provee de gas natural a Gasco quien a su vez

---

<sup>106</sup> Constenla, 2012.

<sup>107</sup> El estudio de Gamma 2012 concluye que el costo de reemplazar un calefactor (de 25.000 [Btu/h]) de baja eficiencia por uno más eficiente varía entre los \$149.000 y los \$265.000, incluida la instalación.

<sup>108</sup> Enap eventualmente puede ejercer su opción de cumplir su contrato con Methanex, a pesar de las promesas gubernamentales de priorizar el suministro residencial de gas natural. Lo anterior, si bien representa un alto riesgo político para el gobierno de turno, no puede ser descartado dado el estado de derecho que prima en el país. El alza de precios está regulada.

distribuye a los consumidores y a Edelmag, generador eléctrico que basa su producción en este combustible.

Gasco y Edelmag tienen un poder de negociación medio en sus respectivos mercados dadas sus posiciones de monopolio natural y la baja sustitución de sus servicios, pero en un escenario de obligatoriedad en la provisión de los servicios en las concesiones que explotan. El control de precios es nulo al estar éstos regulados. Existe dependencia absoluta de Edelmag con Gasco (matriz de generación no diversificada), mientras que Edelmag es un cliente importante de Gasco pero no fundamental en la operación del distribuidor gasífero<sup>109</sup>.

En resumen, el mercado energético en Punta Arenas está limitado por la producción de gas natural y regulado en tarifas de acuerdo a los organismos públicos relacionados (Enap, CNE).

Se concluye que el poder de negociación de los proveedores energéticos es medio.

### **Poder de negociación de los clientes**

El poder de negociación individual de cada cliente de servicios de gas natural y electricidad es bajo. Se explica esto por la no existencia de opciones en proveedores de servicios y la poca importancia individual de cada cliente.

En contraste, el poder de negociación colectivo en la región es considerable como quedó demostrado en el conflicto del gas de enero de 2011 (apartado 2.3).

Considerando el ingreso de nuevas tecnologías para el servicio de calefacción, el poder de negociación a nivel de barrios e incluso individual puede eventualmente desalentar proyectos enteros. No se puede obligar a un cliente a intervenir su hogar o instalación y/o suscribirse a un servicio. En un escenario sin gas natural, el poder de negociación de los clientes pasa a ser mínimo entendiendo la calefacción como un ítem básico de supervivencia.

El actual poder de negociación de los clientes es bajo.

### **Grado de rivalidad entre competidores existentes**

No existe rivalidad en el mercado eléctrico ni en el mercado gasífero. Las empresas controladoras de cada rubro se necesitan entre sí.

Un eventual entrante en el mercado de la calefacción mediante la recuperación de gases de escape de generación eléctrica competiría con Gasco. Un eventual entrante cogenerador competiría con Gasco y Edelmag, quienes son capaces de desalentar su ingreso a la industria. Un eventual entrante generador exclusivo de calor competiría con su propio proveedor de combustible.

---

<sup>109</sup> Según información de SEC 2010 el sector industrial (donde se encuentra Edelmag) representa el 28% del gas natural distribuido en la XII región. Figura 2.5.

El grado de rivalidad entre competidores de la industria energética es bajo.

## Conclusión de análisis previo y selección de tecnología

### Conclusiones análisis PEST

Existe una estructura gubernamental definida que regula y controla todo tipo de actividades que comprenden la generación, manipulación y comercialización de energía, cualquiera sea su tipo. Se regula también las externalidades que dicho proceso genera. Dentro de los lineamientos de los organismos públicos se encuentra la eficiencia energética como política país.

El mercado es de precios crecientes y con una marcada estacionalidad a lo largo del año, además de estar regulados. La sensibilidad de la población frente a alzas en los precios del servicio de gas natural es extrema. Existen controladores únicos en el caso de la electricidad y la distribución de gas natural. La estructura del mercado energético en la XII región está marcada por la influencia de cuatro agentes relevantes, relacionados entre sí: Enap, Edelmag, Gasco Magallanes y Methanex.

Socialmente, los habitantes de la región presentan peculiaridades en su forma de vida en relación al resto del país. Algunas prácticas son respuesta a las condiciones climáticas y geográficas de la región. La condición socioeconómica de los hipotéticos suscriptores es media-alta. La disposición al cambio en la forma de climatizar los hogares es baja.

La tecnología de calefacción distrital como un todo es inédita en Chile, no así los subsistemas que la componen (red, central de vivienda, etc.) por lo que la disponibilidad técnica no es una limitante importante. A nivel internacional, la tecnología es madura y ampliamente desarrollada.

### Conclusiones análisis de Cinco Fuerzas de Porter

El grado de influencia en el mercado energético de cada fuerza puede ser visto en la tabla 4.15.

**Tabla 4.15: Medidas de Fuerzas de Porter en mercado energético de la XII región.**

Fuerza	Medida de evaluación		
	Bajo	Medio	Alto
Amenaza de nuevos competidores	X		
Amenaza de productos o servicios sustitutos	X		
Poder de negociación de los proveedores		X	
Poder de negociación de los clientes	X		
Grado de rivalidad entre los competidores existentes	X		

(Fuente: Elaboración propia)

No existe una fuerza predominante en el mercado, siendo la más significativa aquella que involucra a los proveedores. El mercado resulta poco competitivo e inerte (poca tendencia al cambio).

## Selección de tecnología

En el análisis técnico se consideró la opción de implementar alguna de las siguientes tecnologías en el sistema de calefacción distrital de Punta Arenas:

- Recuperación de gases de escape en central generadora eléctrica Tres Puentes.
- Implementación de central de cogeneración nueva.
- Implementación de central generadora de calor nueva.

En virtud del análisis PEST y Porter se pueden considerar las ventajas y desventajas de cada tecnología, detalladas en la tabla 4.16.

La recuperación de gases de escape, además de presentar la segunda menor inversión dentro de las estudiadas, genera externalidades positivas para el sistema energético regional y al entorno. Como desventaja presenta el riesgo de perjudicar las relaciones de Gasco con Edelmag, al competir ambos en el mercado de la calefacción. El calor de la recuperación de los gases de escape debería mantener el costo en el tiempo considerando que su fuente de origen es un desecho de una actividad regulada como es la generación eléctrica. Esta opción, al proyectarse relacionada con las operaciones de Edelmag, posibilitaría la integración del sistema de cobro del servicio de calefacción con el de la electricidad.

Una central de cogeneración presenta igualmente externalidades positivas al sistema energético y al entorno. Si bien esta tecnología ofrece la oportunidad de obtención de ingresos por los servicios de venta de energía eléctrica, respaldo en potencia y venta de calor, presenta la mayor inversión dentro de las tecnologías analizadas. El actual operador eléctrico puede bloquear en la práctica el ingreso de una planta de cogeneración al sistema distribuido<sup>110</sup>. También es poco atractivo si se piensa en atención exclusiva de clientes grandes (clientes libres); los clientes al requerir potencia de respaldo pueden verse perjudicados en su próxima negociación de contrato de tarifas (Gamma, 2004)<sup>111</sup>. Al competir con Gasco no son esperables condiciones favorables en la provisión de insumos.

---

<sup>110</sup> “En varias ocasiones cuando un importante Distribuidor ha conocido el proyecto de cogeneración de una industria ha procedido de inmediato a ofrecer tarifas eléctricas más bajas de modo de abortar el proyecto” (Gamma Ingenieros, “Evaluación del desempeño operacional y comercial de centrales de cogeneración y estudio del potencial de cogeneración en Chile”, página 57, 2004). Por otro lado, el cogenerador deberá vender su energía al costo marginal instantáneo (artículo 149° de DFL 4 de 2007).

<sup>111</sup> Y también como se puede leer en el artículo 115° del DFL N° 1 de 1982 en donde, mediante ajuste del VAD por parte del ministerio de energía, se busca igualar la tarifa regulada en clientes libres, es decir, no hay incentivo.

**Tabla 4.16: Análisis de opciones de tecnologías.**

Tecnología	Ventajas	Desventajas
<b>Recuperación de gases de generación eléctrica</b>	Alineado con política nacional de eficiencia energética. Disminuye dependencia de energéticos primarios foráneos. Alivia la demanda de Enap. Disminuye emisión de contaminantes. Segundo menor costo de inversión dentro de las tecnologías evaluadas. Posibilidad de ofrecer tarifa de calor estable en el tiempo. Posibilidad de integrar sistema de cobro al del servicio eléctrico.	Puede repercutir en deterioro de relaciones con Gasco Magallanes.
<b>Central de cogeneración</b>	Alineado con política nacional de eficiencia energética. Disminuye dependencia de energéticos primarios foráneos. Alivia la demanda de Enap. Disminuye emisión de contaminantes.	Mayor inversión dentro de las opciones evaluadas. Mercado eléctrico está cubierto y controlado. Empresa requeriría concesión eléctrica. No existe necesidad de mayor potencia instalada. Precios eléctricos deberían ser poco atractivos por cobros de peajes en transmisión y distribución. Poco atractivo para clientes libres al momento de negociar contrato de respaldo con Edelmag. Compite con proveedor directo (Gasco), lo que puede repercutir en barreras de entrada o condiciones poco favorables.
<b>Central generadora de calor</b>	Generación de calor más eficiente en comparación a residencial. Menor inversión del estudio.	Compite directamente con su proveedor. Costo por gas natural mayor al residencial, precio poco competitivo.

(Fuente: Elaboración propia)

La central generadora de calor ofrece mejores eficiencias en la producción de calor al mismo tiempo que es la opción más simple desde el punto de vista técnico y la más económica en inversión. Al competir directamente con su proveedor es esperable que el operador de esta tecnología no entable relaciones favorables con Gasco. De la misma manera, el calor generado con esta tecnología debe tener un precio competitivo con el costo de calefaccionar una vivienda con gas natural subvencionado, es decir, la mayor eficiencia en la generación de calor debe compensar el mayor costo del combustible de forma de hacer atractivo el proyecto. En la práctica lo anterior no es posible puesto que el precio al que podría aspirar el cogenerador es un 29,6% superior al costo por consumo residencial de gas natural<sup>112</sup>. Sumado a lo anterior se observa que una planta de generación exclusiva de calor alcanza rendimientos de hasta un 88%<sup>113</sup>, sólo trece puntos porcentuales por sobre el

<sup>112</sup> Precio de gas natural en la XII región, a partir del 1 de julio de 2012, es de 100,3822 [\$/m<sup>3</sup>] para consumos por sobre los 25.000 [m<sup>3</sup>/mes] (Gran cliente). La tarifa general es de 70,6679 [\$/m<sup>3</sup>] bajo los 25.000 [m<sup>3</sup>/mes]. Lo anterior según lo publicado por Gasco Magallanes y en virtud del Decreto Supremo N° 67 “Reglamento de Servicio de Gas de Red”, de fecha 25 de febrero de 2004, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Artículo 7°.

<sup>113</sup> Figura 2.16.

rendimiento de los calefactores domésticos promedio<sup>114</sup>, sin considerar las pérdidas de calor en transmisión y consumos energéticos por bombeo de agua caliente. Todo lo anterior hace poco atractiva a la opción para eventuales inversionistas en un escenario donde la disposición al pago de los probables usuarios es baja y por lo tanto se hace difícil pensar en pagos adicionales en virtud del valor agregado que presenta la calefacción distrital.

Teniéndose presente los tres párrafos anteriores se concluye que dado el contexto de mercado y el mayor potencial del proyecto, la recuperación de gases de escape de la central Tres Puentes por parte de Edelmag es el negocio que se debe estudiar. Se desarrolla el modelo de negocios de esta opción de generación de calor en una red distrital.

#### **4.5.2. Modelo de negocios sistema de calefacción distrital mediante recuperación de gases de escape de central de generación eléctrica Tres Puentes.**

La lógica de cómo el controlador del servicio de calefacción distrital crea, entrega, y captura valor, es decir, su modelo de negocios, puede ser bien descrito a través de los nueve bloques básicos que componen el modelo Canvas<sup>115</sup>. Los nueve bloques básicos cubren las cuatro áreas fundamentales de un negocio:

- Clientes
- Oferta
- Infraestructura
- Viabilidad financiera

Se describen los bloques en los apartados que siguen.

#### **Segmentos de mercado**

El bloque de segmentos de mercado hace referencia a las agrupaciones de clientes a los cuales la empresa apunta a satisfacer con su propuesta de valor, al mismo tiempo que permite distinguir a los grupos a ignorar. Este bloque se menciona en primer lugar pues es el corazón y razón de ser de cualquier modelo de negocios.

La motivación principal para entablar una distinción entre diversos grupos de clientes formados por agentes similares entre sí es el poder satisfacer a estos grupos de una manera más eficiente.

Ejemplos de segmentos son:

- Mercado masivo: no distingue entre segmentos de mercado distintos, el enfoque es hacia un grupo grande con requerimientos similares.
- Nicho de mercado: segmentos de mercado muy específicos, por lo que resultan pequeños en tamaño.

---

<sup>114</sup> De un 75%, según Gamma, 2012.

<sup>115</sup> Propuesto por Osterwalder A., Pigneur Y., “Business Model Generation”, 2010.

- Segmentos: Se hace la distinción entre grupos de acuerdo a las diferencias y necesidades que éstos presenten.
- Diversificado: Atención a dos o más segmentos no relacionados entre sí, incluso en rubros distintos.
- Plataformas multi-laterales: Atención a segmentos distintos entre sí, pero en donde la existencia de uno de los segmentos es requisito para la existencia de los demás.

## Proposiciones de valor

El bloque de proposiciones de valor describe el conjunto de características y ventajas que hacen que dentro del segmento de clientes existan agentes capaces de entregar dinero a cambio del producto y/o servicio.

Los siguientes elementos eventualmente pueden conformar una propuesta de valor:

- Novedad: Satisfacer necesidades nuevas.
- Desempeño: Mejoramiento del rendimiento de productos y/o servicios ya existentes.
- Personalización: Adaptar productos o servicios a las necesidades específicas de los clientes.
- Facilitar el trabajo: Ayudar a los clientes a concretar sus labores.
- Diseño: Facilitar al cliente un producto de valor según su juicio estético.
- Estatus: Entregar al cliente un mejoramiento en la percepción que tienen terceros sobre él.
- Precio: Entregar productos y servicios a costos menores para los clientes.
- Reducción de costos: Disminuir los costos de los clientes.
- Seguridad: Entregar al cliente mayor confiabilidad a la hora de utilizar un producto y/o servicio.

## Canales

El bloque de canales describe los medios por los que la empresa se comunica y llega con su propuesta de valor a los distintos segmentos de mercado.

La finalidad de los canales es mejorar la percepción de los clientes, ayudar a los clientes a evaluar la propuesta de valor, permitir a los clientes el acceso de los productos y/o servicios ofrecidos, la entrega misma de la propuesta de valor o la provisión de soporte post-venta a los clientes.

## Relaciones con los clientes

Este bloque describe la manera en que la organización entablará relaciones con sus segmentos de clientes. Definir lo anterior resulta fundamental al momento de determinar los lineamientos estratégicos de la organización.

La finalidad de poder establecer relaciones con los segmentos de clientes es poder adquirirlos, retenerlos y hacer que hagan rentable a la organización. Se debe notar que los puntos anteriores requieren relaciones distintas de acuerdo al estado de los clientes; adquirir

a quienes no son clientes, retener a los clientes nuevos y hacer rentables a los clientes cautivos. Las relaciones con los clientes pueden ser:

- Personalizada: Interacción humana cliente/organización.
- Personalizada y dedicada: Interacción humana cliente/organización, ésta última dedicando una persona exclusiva para la atención de un cliente particular.
- Autoservicio: La organización provee los medios para que el cliente pueda ser el gestor de su propia atención.
- Automatizada: La relación con el cliente no comprende la participación de una persona representante de la organización. Por lo general es virtual.
- Comunidades: La empresa facilita la interacción entre sus clientes. De esta forma son los mismos clientes quienes se facilitan la información necesaria.
- Co-creación: Creación conjunta de valor entre el cliente y la organización.

## Fuentes de ingreso

Representa el flujo de ingreso, medible en cantidad de dinero, que la empresa obtiene al entregar su propuesta de valor a los segmentos de clientes a los que apunta. Las fuentes de ingresos de una organización pueden ser múltiples, así como también lo pueden ser los mecanismos con que éstos se generan; pagos por transacciones únicas o transacciones recurrentes. Dentro de las maneras de generar ingresos se encuentran:

- Venta de activos: Intercambiar el derecho de propiedad de un activo por dinero, asumiendo que dicho monto de dinero es mayor que el costo que incurre la empresa al momento de generar dicho activo.
- Prima por uso: Ingreso por prestación de servicios. A mayor uso del cliente, mayor ingreso de la empresa.
- Primas de suscripción: Ingreso por la venta del derecho a usar un servicio. Ingreso de la empresa es independiente del uso del cliente.
- Alquiler o préstamo: Ingreso por la venta del derecho temporal de usufructuar un bien.
- Licencia: Ingreso por la venta del permiso de uso de un bien protegido por propiedad intelectual.
- Comisiones: Ingreso por concepto de intermediación en la colocación de un producto o servicio desde su proveedor hasta su cliente final.

Cada uno de los mecanismos anteriores pueden ser valorizados de acuerdo a políticas de precios fijos (definidos por variables estáticas) o dinámicos (precios varían de acuerdo a las condiciones del mercado).

## Recursos clave

Este bloque describe a los activos más importantes involucrados en el funcionamiento del modelo de negocios, o equivalentemente, del proceso de entrega de valor a los clientes. Estos recursos y su cantidad quedan determinados por el modelo de negocios que se desarrolle. Los recursos pueden ser:

- Físicos: Propiedad y acceso sobre medios materiales.
- Intelectuales: Recursos intangibles que resultan valiosos.
- Humanos: Personas de la organización.
- Financieros: Respaldo monetario que permita emprender los diversos procesos de un negocio.

## Actividades clave

Como actividades clave se entiende a las acciones más importantes que una empresa debe hacer para el buen funcionamiento de su modelo de negocios. De esta manera se crea y oferta valor, se alcanzan mercados, se mantiene relación con los clientes y se generan ingresos. Estas actividades pueden ser:

- Producción: Generación de productos.
- Solución de problemas: Generación de servicios orientados a satisfacer necesidades de los clientes.
- Plataforma/red: Generación del sistema que sustenta un servicio.

## Sociedades claves

El bloque de sociedades clave representa al conjunto de proveedores y socios que facilitan y/o hacen que un modelo de negocios funcione. De esta forma, las organizaciones buscan apropiarse de la experiencia o recursos de otras organizaciones que pueden resultarle de utilidad en su negocio. Estas alianzas pueden ser:

- Estratégicas: Alianzas con empresas no competidoras.
- Alianza estratégica entre competidores (por ejemplo, al momento de decidir el soporte estándar de la industria de la películas en video, VHS vs. Betamax).
- Asociación de empresas: Para creación de nuevos negocios en conjunto.
- Relaciones de comprador/proveedor: Seguridad de acceso a recursos.

Las motivaciones para establecer esas sociedades pueden ser:

- Optimización y economías de escala: Mejoramiento en el ambiente en que se desarrolla el negocio y/o disminución de costos por volúmenes.
- Reducción de riesgo e incertidumbre: Asociaciones pueden neutralizar en parte los riesgos propios de un mercado competitivo.
- Adquisición de recursos y actividades particulares: Acceso a recursos ajenos al alcance de la empresa y que están en poder de otras.

## Estructura de costos

Este bloque muestra la estructura de los costos que se incurren en la ejecución de un modelo de negocios. Crear valor, relacionarse con clientes y generar ingresos inevitablemente implican incurrir en costos. A partir de un conocimiento acabado de los recursos claves, actividades claves y sociedades claves es relativamente fácil establecer los

costos de la operación. Conocer la forma en que se incurre en costos facilita el proceso de minimizarlos.

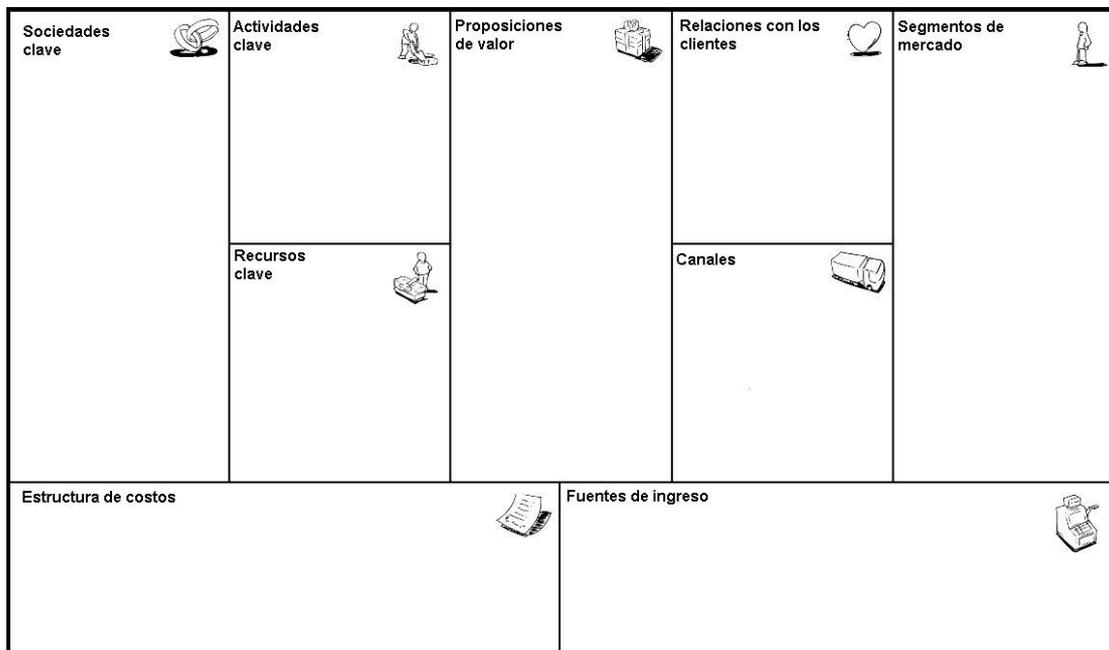
Se puede clasificar a las organizaciones de acuerdo a sus estructuras de costos,

- Impulsados por el costo: Minimización de costos a como dé lugar.
- Impulsados por el valor: Enfoque en la creación de valor, independiente de los costos que haya que incurrir para lograrlo.

Estas estructuras de costos pueden presentar las siguientes características:

- Costos fijos: Costos invariables frente a los volúmenes de productos y/o servicios generados.
- Costos variables: Costos asociados al volumen de productos y servicios generados.
- Economía de escala: Decrecimiento en los costos en virtud del aumento de las unidades producidas.
- Economía de amplitud: Disminución de costos en organizaciones que realizan una gran amplitud de actividades, las que eventualmente pueden ser aprovechadas por diversos productos o servicios a la vez.

La figura siguiente muestra las relaciones entre los bloques del modelo Canvas.



**Figura 4.7: Bloques del modelo Canvas.**

(Fuente: [www.businessmodelgeneration.com](http://www.businessmodelgeneration.com))

Se observa en la figura 4.7 que los bloques de la izquierda marcan las áreas donde el negocio debe presentar el máximo de eficiencia, mientras que los bloques de la derecha

muestran dónde se debe entregar el máximo de valor. En el medio de todo el proceso está la propuesta de valor.

Conocidos los bloques del modelo Canvas, así como también su interacción, se describen los bloques aplicados al proyecto.

### **Segmentos de mercado atendidos por servicio de calefacción distrital**

El mercado objetivo del negocio está compuesto por toda instalación que demande energía térmica en sus operaciones<sup>116</sup> y que tenga una posición física cercana a la central Tres Puentes o que sea próxima a cualquiera de los tramos proyectados de la red de distribución de calor (figura 3.6).

El modelo contempla la existencia de dos segmentos de clientes dentro del mercado objetivo y que están diferenciados entre sí de acuerdo a la naturaleza del lugar en donde se deba proveer el calor: Instalaciones de libre acceso (Clientes públicos) y Recintos particulares (Clientes residenciales). La distinción anterior conlleva diferencias en los volúmenes de demanda de energía térmica y los tipos de instalaciones y equipos requeridos para satisfacer a los clientes. “Ambos segmentos tienen requerimientos similares pero con diferencias”<sup>117</sup>:

Los clientes públicos presentan altas demandas térmicas concentradas en una única conexión a la red distrital. Estos consumidores ya cuentan con sistemas de calefacción con agua caliente en sus instalaciones. Luego, este segmento cuenta con pocos clientes pero que son intensivos en consumo y requieren bajos costos de adaptación al servicio de calefacción distrital. Ejemplos de clientes del segmento son los centros comerciales y el hospital regional.

Los clientes residenciales son la enorme mayoría, presentan consumos pequeños, propios de viviendas unifamiliares, y requieren costos de adaptación a la tecnología elevados. La cantidad de clientes, a pesar de su nivel de consumo, hace que sean el segmento de mayor importancia en el negocio. Ejemplos de clientes de este segmento son las viviendas de los barrios definidos en el alcance del estudio.

La importancia de diferenciar ambos segmentos tiene una motivación adicional al conocer el potencial de aumento en la cartera de clientes del servicio (apartado 3.2.2) y pensando en cómo estos agentes eventualmente deberían ser afrontados para su captación.

### **Propuesta de valor del servicio de calefacción distrital**

La propuesta de valor es el conjunto de atributos que hacen que un segmento de clientes se decline por un producto o servicio y no por otro.

---

<sup>116</sup> Excluyendo hornos de llama directa y/o motores o turbinas, es decir, energía térmica que pueda ser prevista como agua caliente o vapor por una caldera.

<sup>117</sup> Osterwalder A., Pigneur Y., “Business Model Generation”, 2010, p. 21.

En el caso del servicio de calefacción distrital se puede mencionar que la propuesta de valor es un todo que engloba:

- Novedad: El proyecto tiene el potencial y oportunidad de ser el primer y único sistema de calefacción distrital en el país.
- Mejor desempeño para usuarios residenciales: Reducción en requerimientos de ventilación (mayor eficiencia en la calefacción). Elimina contaminación intra domiciliar y generación de humedad. Calefacción saludable.
- Personalización: posibilidad de contar con calefacción distribuida en toda la vivienda<sup>118</sup> y en dónde el cliente residencial quiera, potencia de servicio a gusto del cliente.
- Facilita el trabajo: Clientes públicos eliminan los procesos de mantención de calderas, se eliminan tiempos muertos de procesos por mantención, se evita adquisición de combustibles. Clientes públicos nuevos pueden llegar a ahorrarse la confección de un estudio de impacto ambiental si se proyectan como clientes del servicio desde un comienzo.
- Diseño: oportunidad para clientes residenciales de reemplazar calefactores a gas antiguos por radiadores modernos e instalados por personal certificado.
- Marca/estatus: Clientes de ambos segmentos se sienten parte de un proyecto comprometido con el cuidado de los recursos no renovables, el desarrollo sustentable de la región y el medio ambiente. Disminución de huella de carbono<sup>119</sup> y mejoramiento de imagen de marca en recintos públicos<sup>120</sup>. Mejoramiento en el estatus de los clientes residenciales al contar con calefacción central en sus viviendas<sup>121</sup>; aumento de plusvalía de sus propiedades.
- Precio: Costo de calefacción menor<sup>122</sup> para los usuarios y más estable en el tiempo al tener su origen en un desecho de una actividad regulada. Permite a un gran consumidor de gas natural aspirar a una tarifa bonificada<sup>123</sup>.
- Reduce costos: Elimina costos de mantención de calderas para clientes públicos, disminución de costos de emisiones. Menores gastos en salud para clientes residenciales.

---

<sup>118</sup> Versus uno o a lo mas dos calefactores a gas por vivienda. Gamma, 2012.

<sup>119</sup> Lo que también “Facilita la superación de la barrera de estándares ambientales para exportadores” (Constenla, 2012).

<sup>120</sup> Constenla, 2012.

<sup>121</sup> Se comprobó en terreno que la calefacción central domiciliar es percibida como un objeto aspiracional y de estatus dentro de los barrios estudiados.

<sup>122</sup> Se proyecta reducir el precio del [kWh] en un 5% en comparación al costo actual del calor con gas natural. Este descuento fue el utilizado por la empresa Metrogas para promover la conversión de clientes a gas natural en la región metropolitana. De esta manera les fue posible decir que el servicio era efectivamente más económico, lo que motivó el cambio de los clientes. Se debe observar que el cambio del gas de ciudad a gas natural no presentó ningún valor agregado al cliente, por lo que se incentivó con el precio. En este caso si existe una propuesta de valor que podría permitir mantener el valor del [kWh] e incluso aumentarlo, sin embargo, se comprobó en terreno que la disposición al cambio está ligada a una disminución en los precios.

<sup>123</sup> Si su consumo está por sobre los 25.000 [m<sup>3</sup>/mes] puede quedar bajo este umbral mediante el uso de calor distrital. En caso de no poder cubrir toda su demanda térmica con el servicio, el remanente quedaría eventualmente bajo tarifa bonificada.

- Reducción de riesgo: Se elimina riesgo de incendios e intoxicaciones en las viviendas. Existe relación de contrato por servicio de calefacción distrital que garantiza respaldo.
- Accesibilidad: Poner al alcance un sistema de calefacción central domiciliaria.

Se debe destacar la componente sustentable del proyecto. Estudios desarrollados por la empresa McCann Erickson muestran el interés en los consumidores que despiertan los productos verdes y socialmente sustentables: el 27% de los consumidores está dispuesto a pagar más por productos socialmente responsables, mientras que un 54% está dispuesto a pagar en el mismo nivel de precios<sup>124</sup>.

En resumen, se ofrece un servicio globalmente superior bajo la premisa de ser:

- Sustentable
- Saludable
- Seguro

### **Canales del servicio de calefacción distrital**

Los canales de entrega de valor al cliente dependen del segmento que se aborde y de la etapa del proceso de negocio que se esté desarrollando:

- Captación de cliente público o grupo de clientes residenciales. Promoción.
- Incorporación del cliente ya cautivo al servicio.
- Operación, mantención, respaldo y cobro del servicio.

La interacción con clientes públicos sigue una lógica B2B (Business-to-Business) y de B2C (Business-to-Consumer) para clientes residenciales. El canal de relación con los segmentos debe ser Fuerza de ventas. Por la concepción del negocio se debe salir a buscar a los nuevos clientes<sup>125</sup> al mismo tiempo que se debe contar con contacto personal del prestador del servicio. De esta forma se busca contactar y visitar instalaciones con potencial de incorporar a la cartera de clientes, al mismo tiempo que se entrega percepción de la confiabilidad de la propuesta.

La incorporación de clientes se lleva a cabo mediante la presencia física y accionar del personal afín.

Debido a los elevados costos de inversión, el canal destinado a la prestación del servicio (red de distribución de calor) no es de uso exclusivo de un determinado segmento. Se proyecta el máximo uso de canales propios en la operación del servicio. De esta manera es posible controlar el proceso de entrega de valor y aprovechar al máximo los beneficios. En la etapa de cobro y gestión de clientes resulta fundamental la integración con la plataforma de manejo de clientes con que cuenta Edelmag, de esta forma:

---

<sup>124</sup> Constenla, 2012.

<sup>125</sup> Para viabilizar el proyecto se debe incorporar a la mayor cantidad de suscriptores posibles. Como se ofrece un servicio sustituto de un sistema ya operativo (la distribución de gas) se debe buscar vencer el *establishment* actual, buscar al cliente.

- Las lecturas de medidores se realizan con una única visita a cada cliente, coincidente con la lectura de energía eléctrica.
- Se envía una única cuenta al cliente, junto con cuenta de energía eléctrica.
- Se maneja una única base de datos de clientes, la actual de Edelmag, distinguiendo a clientes con servicio de calor y clientes sin este servicio.
- El cliente cancela una única cuenta por el servicio de energía eléctrica y calor<sup>126</sup>.
- Es posible asegurar el pago del servicio de calor<sup>127</sup>.
- Se cuenta con una plataforma web de seguimiento del consumo, pago de cuentas, reclamos, etc.

Del mismo modo, es posible contar con las instalaciones físicas de la distribuidora eléctrica para procesos de pago de cuentas, recepción de reclamos, etc.

Otra modalidad interesante de interacción con los clientes es canalizar el cobro a través de descuentos por planilla. Esto podría ser aplicado en la Población Bahía Catalina de la Fuerza Aérea de Chile. Así se asegura el pago y se facilita la labor.

Los servicios de respaldo de equipos y mantenciones se canalizan a través de las oficinas de representantes de las respectivas marcas.

### **Relaciones con clientes de servicio de calefacción distrital**

Para el segmento de clientes públicos se desea mantener una relación del tipo Asistencia Personal Dedicada. De esta forma se refuerza la relación B2B existente entre la empresa proveedora del servicio y la empresa que lo contrata. También permite entregar una mejor percepción de confiabilidad y seriedad en la prestación del servicio.

Lo más apropiado para el segmento residencial es basar la relación bajo una óptica B2C con un mecanismo de Asistencia Personal en donde, si bien existe una interacción humana, ésta no es personalizada ni exclusiva. Lo anterior resulta eficiente en escenarios de muchos clientes que generan bajos flujos y que requieren escasa asistencia fuera de la provisión del servicio principal.

En ambos segmentos la relación con el entorno es de constante búsqueda de nuevos clientes.

La relación con todos los clientes, independiente del segmento, debería ser gestionada en base a la información depositada en el CRM<sup>128</sup> de la empresa Edelmag.

---

<sup>126</sup> Según establece el Reglamento de servicios eléctricos, la cuenta del servicio no puede incorporar cargos por servicios distintos al eléctrico, excepto que el cliente exprese lo contrario por escrito, es decir, que autorice a que se le cobren servicios adicionales en la cuenta de electricidad. Es lo que en la práctica ocurre con las ventas de electrodomésticos por parte de los distribuidores, en cuyos casos el bien se paga en cuotas incorporadas a la factura eléctrica. La reglamentación anterior aplica también para los servicios de gas.

<sup>127</sup> El Artículo N° 6 del Reglamento de servicios eléctricos (Decreto supremo N° 327 del Ministerio de Minería, 1998) no prohíbe el corte de suministro eléctrico por no pago de servicios distintos al eléctrico, es decir, se puede cortar el servicio eléctrico a un cliente que no cancele algún otro servicio. Esto permite asegurar el pago del servicio de calor. En el caso del Reglamento de servicios de gas, el Artículo N° 69 es explícito en señalar que el corte de servicio de gas puede incurrirse sólo por no pago del servicio de gas en sí.

## Fuentes de ingreso por servicio de calefacción distrital

La fuente de ingreso principal del servicio es mediante el mecanismo de Prima por Uso, es decir, cobro según el volumen del servicio adquirido por parte del cliente.

Además de lo anterior podrían existir flujos de ingreso por concepto de:

- Servicios afines (intervención de conexiones a la red, corte y reposición del servicio, término de servicio, envíos de boleta a direcciones especiales, etc.).
- Intereses por mora en pago de servicios y por concepto de cobranza.
- Venta de activos afines a un mejoramiento o reparación de instalaciones de calefacción y ACS residenciales.

La dificultad de poder determinar los volúmenes de ingreso comprometidos en los tres ítems anteriores, sumado a su poca relevancia en comparación al ingreso principal, lleva a no considerarlos en la evaluación económica.

Se debe mencionar la eventual existencia de ingresos por comercialización de bonos de carbono. Si bien es una posibilidad concreta de ingreso para el proyecto, la dificultad de medir y certificar dichos bonos dificulta su comercialización. Por lo anterior no se consideran como flujo de ingreso en la evaluación económica.

## Recursos clave para servicio de calefacción distrital

El recurso clave del negocio es el calor residual del proceso de generación eléctrica en la central Tres Puentes y el sistema de recuperación, distribución y aprovechamiento doméstico que hace posible que pueda ser utilizado. Esta es la base del negocio.

Un recurso fundamental para el proceso de aprovechamiento de calor como calefacción distrital es la solvencia financiera que cuente la organización explotadora del servicio para la adquisición, instalación, operación y mantenimiento del sistema.

Resulta clave contar con un equipo de R.R.H.H. capacitado y suficiente en dotación que pueda operar de manera satisfactoria la prestación del servicio, la gestión de los clientes y la gestión del negocio.

Por último, un recurso que resulta de importancia puesto que facilita considerablemente el proceso de gestión de clientes y manejos de flujos de ingreso es la base de datos de clientes que maneja Edelmag y la plataforma de operación de servicios públicos que la empresa opera (lectura de consumos, cobros, recepción de reclamos, etc.)

## Actividades clave en la prestación de servicio de calefacción distrital

La actividad que sustenta todo el negocio es la prestación satisfactoria del servicio ofrecido a los clientes. Por la importancia que representa la calefacción en la XII región el servicio

---

<sup>128</sup> *Customer Relationship Management*, software para la administración de la relación con los clientes.

no puede ser menos que excelente. Lo anterior no es posible sin la implementación pertinente del sistema en conjunto con la mantención de equipos adecuada y oportuna.

El control y cobro de la prestación del servicio es otra de las actividades clave para la rentabilidad del negocio. Se debe cuidar de sobre manera el proceso de cobro a fin de minimizar los errores que pueden repercutir en pérdidas de clientes. Se contempla para esta actividad maximizar la integración con el sistema de cobros de Edelmag.

Por último, el crecimiento del negocio se basa en una correcta gestión de clientes bajo dos premisas: incorporar y retener clientes.

### **Sociedades clave para servicio de calefacción distrital**

Puesto que toda la operación se sustenta en la propiedad y correcta operación de los equipos involucrados en la prestación del servicio, es fundamental contar con la sociedad y respaldo de los proveedores. De igual forma, es preciso contar con alianzas con empresas que prestan servicios de mantención para los equipos involucrados.

La finalidad de externalizar dos actividades claves, provisión y mantención de equipos, es contar con personal especializado en cada área, al mismo tiempo que se reducen los costos fijos.

### **Estructura de costos de servicio de calefacción distrital**

La estructura de costos del negocio se explica por las actividades y sociedades que se deben mantener durante la operación del servicio y los recursos que se deben gastar.

La operación del servicio conlleva incurrir en dos grandes costos: Energía eléctrica para el bombeo del agua caliente y la mantención de los equipos.

El costo principal de la gestión del servicio se explica por los R.R.H.H.

Se descarta al proceso de cobro como una fuente de gastos al proyectarse integrado con el sistema de cobro de Edelmag.

Se detalla a continuación un resumen de los nueve bloques bajo la estructura del diagrama Canvas.



**Figura 4.8: Modelo Canvas de Servicio de Calefacción distrital mediante aprovechamiento de gases de escape de central Tres Puentes.**

(Fuente: Elaboración propia)

## 4.6. Evaluación económica

Se evalúa el proyecto de calefacción distrital en Punta Arenas operado por Edelmag mediante la recuperación de gases de escape de la central Tres Puentes.

En la evaluación técnica se pudo observar que el consumo de ACS es muy menor al consumo calórico de calefacción para las tres tipologías de viviendas, al mismo tiempo que se observa que el costo de instalar un AACCS en una vivienda representa aproximadamente el 35% de la inversión de adaptarla. De esto se puede concluir a priori que prestar el servicio de generación de ACS mediante la red distrital empeora al proyecto global. Es por esto que la evaluación económica se desarrolla en escenarios:

- **Escenario 1:** Instalación de equipos de calefacción y de generación de ACS en viviendas, con la consiguiente demanda debido a estos dos ítems.
- **Escenario 2:** Instalación exclusiva de equipos para calefacción y venta de calor considerando satisfacción exclusiva de este ítem.

Se debe considerar que en el escenario 2 el cliente es libre de instalar un AACCS en su vivienda, pero bajo su costo. Esta situación determina el tercer escenario.

- **Escenario 3:** Instalación exclusiva de equipos para calefacción, un porcentaje X de clientes instala AACCS por su cuenta y venta de calor de acuerdo a esto: X% de clientes demanda calor para calefacción y generación de ACS y un (100 - X)% demanda calor exclusivamente para calefacción.

Se puede observar que el escenario 3 siempre será mejor o igual al escenario 2 (si X es igual a cero el escenario 3 es igual al escenario 2), al mismo tiempo que dicho escenario mejora con el porcentaje de clientes que instalen AACCS en sus viviendas, luego la motivación para incluirlo dentro de la comparativa es ver el comportamiento del sistema frente a la incorporación de AACCS por parte de los clientes.

El mejor escenario resultante luego del análisis de flujo de caja será desarrollado en el análisis de sensibilidad.

A pesar del crecimiento poblacional de la ciudad y del potencial de incorporación de nuevos clientes no se considera un aumento en las ventas ni en la cartera de clientes, es decir, se evalúa el proyecto con ventas acordes al nivel de inversión que se incurrió en el año 0 y el alcance establecido. La variación de aumento de ventas se desarrolla en el análisis de sensibilidad.

La evaluación económica mediante flujo de caja es bajo las consideraciones que se detallan a continuación.

### 4.6.1. Consideraciones monetarias

Para todos los cálculos que involucren equivalencia de moneda CLP – Dólar Estadounidense se utilizará el tipo de cambio correspondiente a 492,6 [CLP/US\$]. Este valor corresponde al promedio observado diariamente durante el periodo 02/01/12 – 02/08/12 por el Banco Central de Chile<sup>129</sup>.

### 4.6.2. Inversión

Se detalla los montos de inversión requeridos en los escenarios 1, 2 y 3 para la ejecución del proyecto de recuperación de gases de escape de la central Tres Puentes y su aprovechamiento en calefacción distrital.

Por simplicidad y poca variabilidad en la demanda de calor<sup>130</sup>, en los tres escenarios se considera que las inversiones de la planta recuperadora de calor y de la red de distribución de calor no varían con la demanda de calor propia de cada escenario.

Los montos de cada ítem de inversión se encuentran detallados en los apartados 4.1 a 4.4.

#### Inversión escenario 1

La inversión requerida para este escenario se detalla en la tabla 4.17.

**Tabla 4.17: Inversión escenario 1.**

Ítem	Monto [US\$]
Tubería y aislación de red distrital	1.722.289
Costo de instalación de red distrital	3.459.757
Montaje de redes conjuntos de consumo	665.252
Equipos de red	2.580.263
Adaptación de suscriptores	11.418.491
Planta de recuperación de gases central Tres Puentes	2.684.754
<b>Total Inversión</b>	<b>22.530.806</b>

(Fuente: Elaboración propia)

El monto de inversión para el escenario 1 asciende a US\$ 22.530.806.

<sup>129</sup>Indicadores diarios Banco Central de Chile.

[http://si3.bcentral.cl/Indicadoressiete/secure/Serie.aspx?gcode=PRE\\_TCO&param=DfVYwfinI-35nMhh%245WP.mX0GNecc%23AZpFagPSew5414MkK\\_uC%24Hsm\\_6tkoWgJLzs\\_nLrbC.E7UWxRYaA8dyg1AD](http://si3.bcentral.cl/Indicadoressiete/secure/Serie.aspx?gcode=PRE_TCO&param=DfVYwfinI-35nMhh%245WP.mX0GNecc%23AZpFagPSew5414MkK_uC%24Hsm_6tkoWgJLzs_nLrbC.E7UWxRYaA8dyg1AD). (consultado el 02/08/12).

<sup>130</sup> El aporte de la generación de ACS residencial a la demanda calórica total es menor en comparación al aporte de la calefacción. Luego, si el ítem ACS está presente o no, no varía mayormente el dimensionamiento de la planta de calor y de la red de distribución. La generación de ACS si resulta relevante al analizar la inversión en las viviendas, hecho que motiva estudiar los escenarios por separado.

## Inversión escenario 2 y 3

En estos escenarios la inversión del ítem “Adaptación de suscriptores” no contempla la adquisición de los componentes comprometidos en la generación de ACS (AACS, válvula mezcladora, termómetro y válvula de bola para corte, ver figura 3.25), según se observa en la tabla siguiente.

**Tabla 4.18: Inversión por concepto de ACS en centrales de vivienda de cualquier tipología.**

Ítem	Valor
Costo AACS [US\$/vivienda]	1.507
Costo válvula de 3 vías [US\$/vivienda]	82
Costo válvula de bola, 1" [US\$/vivienda]	14
Costo termómetro para AACS [US\$/vivienda]	12
Costo total de equipos residenciales ACS [US\$/vivienda]	1.615
Cantidad de viviendas	2.614
<b>Inversión total en equipos de ACS en proyecto [US\$]</b>	<b>4.221.192</b>

(Fuente: Elaboración propia)

El ahorro en la inversión de todo el sistema al no considerar el ítem ACS asciende a US\$ 4.221.192.

Luego, el monto de inversión para el proyecto en el escenario 2 y 3 es el detallado en la tabla siguiente.

**Tabla 4.19: Inversión escenario 2 y 3.**

Ítem	Monto [US\$]
Tubería y aislación de red distrital	1.722.289
Costo de instalación de red distrital	3.459.757
Montaje de redes conjuntos de consumo	665.252
Equipos de red	2.580.263
Adaptación de suscriptores	7.197.299
Planta de recuperación de gases central Tres Puentes	2.684.754
<b>Total Inversión</b>	<b>18.309.614</b>

(Fuente: Elaboración propia)

El monto de inversión para el escenario 2 y 3 asciende a US\$ 18.309.614.

### 4.6.3. Ingresos

Se detallan los ingresos por concepto de venta de calor del proyecto. El detalle de los montos de calor a vender por hora para cada mes puede ser visto en la tabla D.7 del anexo D.

La valorización del calor suministrado sigue la siguiente lógica:

- El costo bonificado del gas natural en la XII región, con un poder calorífico de  $9.500 \text{ [Kcal/m}^3\text{]}^{131}$ , es de  $70,6679 \text{ [$/m}^3\text{]}$ . El costo del gas natural sin bonificación asciende a  $100,3822 \text{ [$/m}^3\text{]}$ . El umbral de la bonificación es de  $25.000 \text{ [m}^3\text{]}$  (bajo el umbral el precio es bonificado).
- Se considera que el mejor rendimiento de combustión residencial<sup>132</sup> puede llegar a un  $85\%^{133}$ , con lo que el costo del [kWht] de calefacción a partir del gas natural bonificado asciende a  $7,52 \text{ [$/kWht]}$ .
- Se observa que ningún cliente, dentro de los considerados en el estudio a excepción del Hospital Clínico Regional, presenta un consumo de gas natural por sobre el umbral de  $25.000 \text{ [m}^3\text{]}$ .
- A partir de los puntos anteriores y considerando que la propuesta de valor incluye un mejor precio, la estimación del costo del [kWht] suministrado por la red distrital es en base a un  $5\%$  más económico<sup>134</sup> que el [kWht] de calefacción por gas natural bonificado, sin distinción de clientes por su rango de consumo.
- Luego, el precio del [kWht] a suministrar por la red distrital es de  $0,95 \times 7,52 \text{ [$/kWht]} = 7,15 \text{ [$/kWht]}$ .

El volumen de energía suministrado anualmente multiplicado por el precio del [kWht] corresponderá al ingreso del proyecto. El precio se ajusta de acuerdo al IPC proyectado como el valor correspondiente al acumulado hasta junio de 2012 y equivalente a  $0.5\%^{135}$ .

## Ingresos escenario 1

Los ingresos anuales del primer año de proyecto bajo el escenario 1 son los que se observan en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20: Ingresos del proyecto en escenario 1.**

Mes	Días del mes	Calor diario [kWh/día]	Calor mensual [kWh/mes]	Ingreso [\$]	Ingreso [US\$]
1	31	161.140	4.995.340	35.716.325	72.506
2	29	169.981	4.929.449	35.245.209	71.549
3	31	174.126	5.397.906	38.594.643	78.349
4	30	291.079	8.732.370	62.435.823	126.748
5	31	321.274	9.959.494	71.209.672	144.559
6	30	358.235	10.747.050	76.840.641	155.990
7	31	354.525	10.990.275	78.579.683	159.520
8	31	340.758	10.563.498	75.528.258	153.326
9	30	305.228	9.156.840	65.470.753	132.909
10	31	182.783	5.666.273	40.513.448	82.244
11	30	169.404	5.082.120	36.336.796	73.765
12	31	167.017	5.177.527	37.018.949	75.150
<b>Total</b>			<b>91.398.142</b>	<b>653.490.199</b>	<b>1.326.614</b>

(Fuente: Elaboración propia)

<sup>131</sup> En condiciones estándar:  $1 \text{ [atm]}$  y  $15^\circ \text{ C}$ .

<sup>132</sup> A fin de que la propuesta de valor de economía aplique a todos los clientes se selecciona el máximo.

<sup>133</sup> Gamma, 2012.

<sup>134</sup> Porcentaje utilizado por Metrogas al promocionar la conversión a gas natural en Santiago el año 1998. En esa operación el distribuidor de gas se acogió a este descuento en el costo del calor para argumentar que su propuesta de valor también implicaba economía para el cliente.

<sup>135</sup> Banco Central de Chile.

Los ingresos del primer año en el escenario 1 ascienden a US\$ 1.326.614.

## Ingresos escenario 2

Los ingresos del primer año para el proyecto bajo el escenario 2 son los que se observan en la tabla 4.21. En este caso se restó la demanda térmica para ACS (tabla 3.19) de los 2.614 hogares del estudio.

**Tabla 4.21: Ingresos del proyecto en escenario 2.**

Mes	Días del mes	Calor diario [kWh/día]	Calor mensual [kWh/mes]	Ingreso [\$]	Ingreso [US\$]
1	31	139.705	4.330.861	30.965.349	62.861
2	29	148.808	4.315.420	30.854.948	62.637
3	31	152.691	4.733.427	33.843.667	68.704
4	30	268.860	8.065.800	57.669.895	117.072
5	31	297.748	9.230.188	65.995.186	133.973
6	30	333.402	10.002.060	71.514.016	145.177
7	31	328.646	10.188.038	72.843.748	147.876
8	31	314.618	9.753.158	69.734.384	141.564
9	30	279.611	8.388.324	59.975.919	121.754
10	31	158.211	4.904.553	35.067.207	71.188
11	30	145.878	4.376.340	31.290.519	63.521
12	31	144.537	4.480.635	32.036.218	65.035
<b>Total</b>			<b>82.768.805</b>	<b>591.791.056</b>	<b>1.201.362</b>

(Fuente: elaboración propia)

Los ingresos del primer año en el escenario 2 ascienden a US\$ 1.201.362.

## Ingresos escenario 3

Este escenario contempla que algunos clientes residenciales, un X% del total, instalarán AACS por su cuenta y, consiguientemente, demandarán calor por concepto de generación de ACS.

Los ingresos del primer año en el escenario 3 responden a la expresión 4.7.

$$\text{Ingresos} = 1.201.362 + X\% \cdot (1.326.614 - 1.201.362) = 1.201.362 + X\% \cdot 125.252 \text{ [US$/año]} \quad (4.7)$$

Como se mencionó anteriormente, este escenario mejora con la cantidad de clientes que instalan por su cuenta un AACS. Se estima como un valor razonable, dado el elevado costo del sistema, que el 10% de los clientes instalaría o ya tiene un AACS y los equipos relacionados para su operación. El ingreso del primer año, en el escenario 3, corresponde entonces a 1.213.887 [US\$/año].

### 4.6.4. Costos

Se detalla la estructura de costos y los montos comprometidos en la operación del proyecto.

## Costos de operación

Los costos operacionales corresponden al gasto en energía eléctrica requerido para el bombeo de agua caliente. La energía requerida para el bombeo de  $Q$  [ $m^3/s$ ] a una altura  $H$  [m.c.a.] con una eficiencia  $\varepsilon$  se obtiene por la expresión 4.8.

$$\text{Consumo Eléctrico}_{\text{Real bomba}} = \frac{\rho g Q H}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{1000} [kWh] \quad (4.8)$$

Se asume que las bombas seleccionadas bajo cargas normales de operación tienen un rendimiento del 80%.

El consumo energético del bombeo, obtenido mediante la expresión 4.8 y siguiendo los requerimientos operacionales de la tabla D.7, es detallado en la tabla E.28 del anexo E.

El costo del [kWh] se valoriza por el costo de generación de Edelmag, sin considerar costos de distribución ni transmisión (otra de las motivaciones para que sea Edelmag el operador del sistema). Para esto:

- Se considera que Edelmag accede a una tarifa de gas natural de 100,3822 [\$/ $m^3$ ], es decir, no es cliente bonificado.
- La eficiencia de generación eléctrica es de un 30%.

Con lo que el [kWh] tiene un costo para Edelmag de 0,0615 [US\$/kWh].

Los costos horarios de bombeo se detallan en las tablas E.29 y E.30 del anexo E, donde se observa que los costos operacionales del proyecto ascienden a 283.992 [US\$/año], reajustables con el IPC con un porcentaje de 0,5%.

## Costos de mantención

Los costos de mantención corresponden al gasto que se debe incurrir para mantener en condiciones adecuadas los equipos.

### Costo de mantención en central de recuperación de calor

El costo de mantención de una central de cogeneración, por unidad energética de electricidad generada, corresponde a 0,0075 [US\$/kWh]<sup>136</sup>, considerando turbinas y calderas recuperadoras<sup>137</sup>. Puesto que el gasto de mantención de la turbina no aplica al proyecto, el costo de mantención efectivo corresponde a un 25% del valor antes señalado<sup>138</sup>, es decir, 0,00188 [US\$/kWh]. Considerando lo anterior el costo de mantención de la central de recuperación de calor corresponde a lo detallado en la tabla 4.22.

---

<sup>136</sup> Información de Finning Chile, representante de Caterpillar.

<sup>137</sup> Gamma, 2012.

<sup>138</sup> Opinión experta del Dr. Fco. Negroni, Gerente General de Gamma Ingenieros.

**Tabla 4.22: Costos de mantención central de recuperación de calor.**

Escenario	Generación térmica [kWh/año]	Generación eléctrica asociada [kWh/año] (1)	Costo de mantención central recuperadora de calor [US\$/año]
1	91.398.142	42.183.758	79.305
2	82.768.805	38.200.987	71.818
3	83.631.739	38.599.264	72.567

(Fuente: elaboración propia)

(1) Operación de conjuntos de generación N° 7 y 9 de central Tres Puentes.

### Costos de mantención de equipos de red de distribución

El costo de mantención del sistema de bombeo corresponde a un pago del 60% del costo total de la bomba y su motor cada 7 años de operación<sup>139</sup>.

Se desprecian los costos de mantención de válvulas, tuberías y equipos de control.

### Costos de la gestión del negocio

El proyecto requiere personal para desarrollar sus tres grandes áreas: área técnica, fuerza de ventas y administración.

- Área técnica:

De acuerdo a lo recomendado en la literatura<sup>140</sup>, una planta de cogeneración o similar puede operar en 1, 2 ó 3 turnos requiriendo un operador por turno y un cuarto operador en caso de operar los domingos. Los operadores deben tener estudios de electromecánica y deben ser capacitados para realizar la operación, mantenimientos menores y de rutina de los motores, calderas recuperadoras, bombas, intercambiadores de calor, etc. y para llevar a cabo las acciones apropiadas en caso de eventualidades. Los operarios deben también aprobar el curso básico de caldereros exigido por el SESMA para operar calderas de vapor o agua caliente.

La remuneración mensual de cada operador asciende a \$500.000, con lo que el costo que representa el área técnica es de 2.000.000 [\$/mes] ó 4.060 [US\$/mes].

- Fuerza de ventas:

La fuerza de ventas desarrolla las tareas comerciales y de gestión de clientes del negocio. Dentro de las labores se encuentra la captación de clientes, la coordinación y planificación de mantenciones, el servicio post-venta, contacto con proveedores y socios, etc. El personal requerido para estas labores corresponde a un ingeniero civil industrial y un ingeniero civil

<sup>139</sup> Peirano (2009), en base a compendio de redes geotérmicas operativas en E.E.U.U.

<sup>140</sup> Gamma 2004.

mecánico, a fin de poder atender los requerimientos comerciales y de operación de clientes grandes y barrios (como unidades).

La remuneración mensual de cada empleado de fuerza de ventas asciende a \$800.000 por lo que el gasto mensual resultante de la fuerza de ventas corresponde a 3.248 [US\$/mes].

- **Administración**

Se considera la incorporación de un único administrador del sistema encargado de la dirección operacional y táctica del negocio. Las labores del administrador, ingeniero civil industrial, son la dirección de la fuerza de ventas, coordinación con el área eléctrica de Edelmag, etc.

La remuneración del administrador corresponde a 2.030 [US\$/mes]

El costo total para la gestión del negocio por R.R.H.H. asciende a 112.056 [US\$/año] reajustables en un 0,5% anual.

#### **4.6.5. Parámetros de flujo de caja**

##### **Horizonte de evaluación**

El horizonte de evaluación del proyecto se establece en 20 años con la finalidad de poder estudiar el ciclo de vida del negocio en conjunto con la vida útil de la instalación.

##### **Tasa de descuento**

Para la selección de la tasa de descuento apropiada para la evaluación de un proyecto de Edelmag S.A. se debe conocer como antecedente la forma en que se fijan las tarifas de generación, transmisión y distribución del mercado eléctrico en donde se desenvuelve la empresa. La autoridad fija las tarifas por periodos de cuatro años considerando un costo incremental de desarrollo. Las tarifas permiten alcanzar a los operadores eléctricos rentabilidades de un 10% sobre la inversión, bajo el supuesto de una operación eficiente y teniéndose en cuenta el abastecimiento total de la demanda del sistema eléctrico<sup>141</sup>.

Frente a lo anterior la tasa de descuento exigible por Edelmag a cualquier proyecto debe ser de un 10%, que es la tasa de descuento a utilizar en la evaluación del proyecto.

##### **Depreciación de activos**

Se asume que los activos del proyecto se deprecian de manera lineal en sus 20 años de vida útil.

---

<sup>141</sup> Feller-Rate Clasificadora de riesgo, Cambio de clasificación Empresa Eléctrica de Magallanes, Noviembre de 2010.

## Definición de propiedad de activos

Tanto los equipos de recuperación de calor, como la red y los equipos comprometidos en la operación (bombas y válvulas) son de propiedad de Edelmag.

En el caso de los equipos de las centrales de vivienda los equipos serán de propiedad de Edelmag bajo un acuerdo de préstamo indefinido con los clientes. Lo anterior tiene triple finalidad:

- Fomentar la incorporación de los clientes al servicio.
- Tener derecho de propiedad de los equipos frente a abandonos del servicio.
- Posibilidad de depreciar los activos residenciales y el consiguiente menor pago de impuestos.

## Impuestos

Los impuestos a las utilidades percibidas o devengadas corresponden al 17% de éstas a partir del año comercial 2013.<sup>142</sup>

### 4.6.6. Resultados de flujo de caja

Los resultados del flujo de caja para los tres escenarios pueden ser vistos en la tabla 4.23.

**Tabla 4.23: Resultados de flujo de caja en US\$ bajo los tres escenarios de estudio.**

Escenario	VAN	TIR
1	- 16.716.970	-4,15%
2	- 13.531.813	-4,06%
3	- 13.455.768	-3,97%

(Fuente: Elaboración propia)

El detalle de los flujos de caja puede ser visto en el anexo G.

## Conclusión de análisis de flujo de caja

Bajo las condiciones propuestas en este estudio el proyecto no es rentable bajo ninguno de los escenarios desarrollados. Lo anterior puede ser revertido bajo un hipotético escenario de aporte público a la inversión del proyecto.

Como era esperado, el escenario 3 resultó ser el mejor puesto que comprende venta de calor para generación de ACS sin incurrir en gastos de inversión para ese ítem. Se desarrolla el análisis de sensibilidad para este escenario conservando el porcentaje de clientes que instalan un AACS por su cuenta (10% del total de clientes residenciales) al considerarse este valor como conservador y probable.

<sup>142</sup> Servicio de impuestos internos, [http://www.sii.cl/aprenda\\_sobre\\_impuestos/impuestos/imp\\_directos.htm](http://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/imp_directos.htm) Circulares N°95, de 2001 y 63, de 2010.

#### 4.6.7. Análisis de sensibilidad de la evaluación económica del proyecto

Se desarrolla un análisis de sensibilidad para el escenario de evaluación 3 considerando la fluctuación de las siguientes variables de manera independiente:

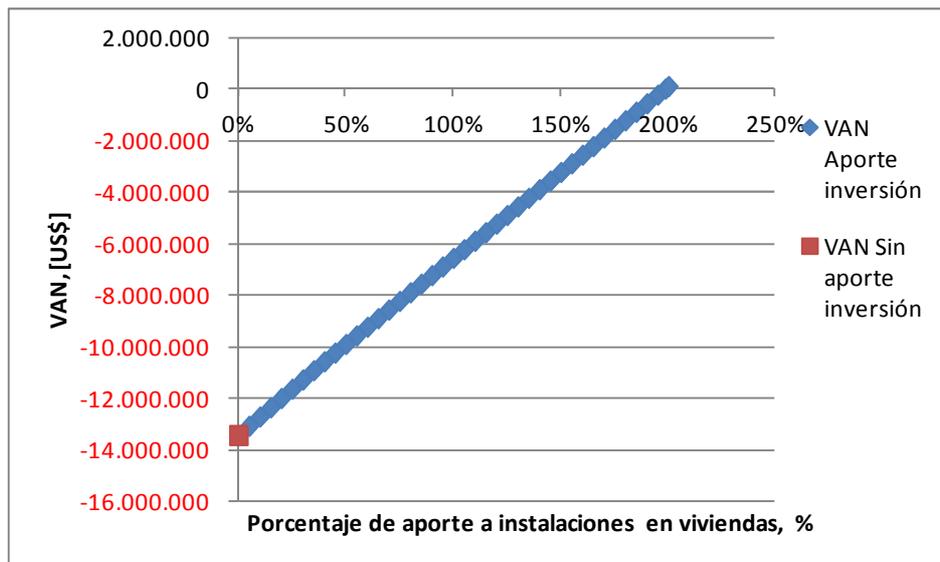
- Porcentaje de aporte de los clientes para la instalación de sus centrales de vivienda.
- Aumento en el precio de venta del [kWh] de la red distrital.
- Aumento del volumen anual de calor vendido.

Se debe señalar que la primera variable de las enlistadas además de disminuir el monto de inversión requerido, tiene incorporada una componente que promueve la fidelización de los suscriptores al hacerlos partícipes en el desarrollo del proyecto.

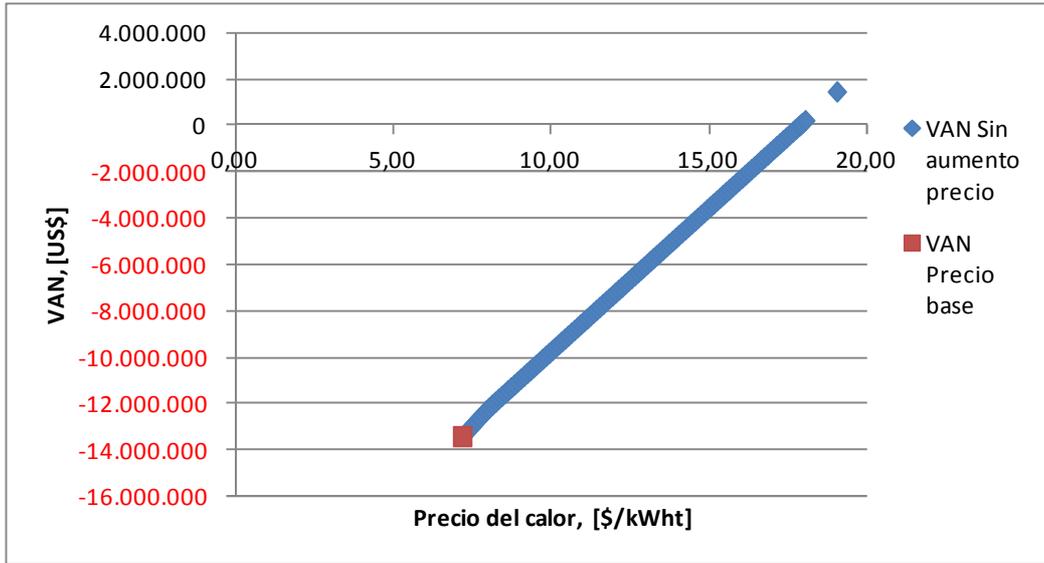
Para el estudio de sensibilización de la segunda variable de la lista sólo se contempla un aumento puesto que no tiene sentido disminuir el precio (que ya es muy competitivo en el escenario base y que además arroja una evaluación negativa). Es razonable estudiar escenarios con aumento de precio del servicio considerando la propuesta de valor ofrecida.

Un aumento en la demanda de calor, tercer punto, responde a observaciones constatadas en terreno y que hacen referencia a un consumo de calor que puede estar por sobre el estimado. También se debe tener presente el potencial de incorporación de nuevos clientes a la red (apartado 3.2.2), sobre todo industriales que aplanen la demanda de calor de la red durante el día (pesqueras, frigoríficos). Bajo este análisis en particular no se considera la mayor inversión producto de la adquisición de nuevos clientes, la que resultaría marginal de todas formas.

Los resultados del análisis de sensibilidad se observan en las figuras siguientes.

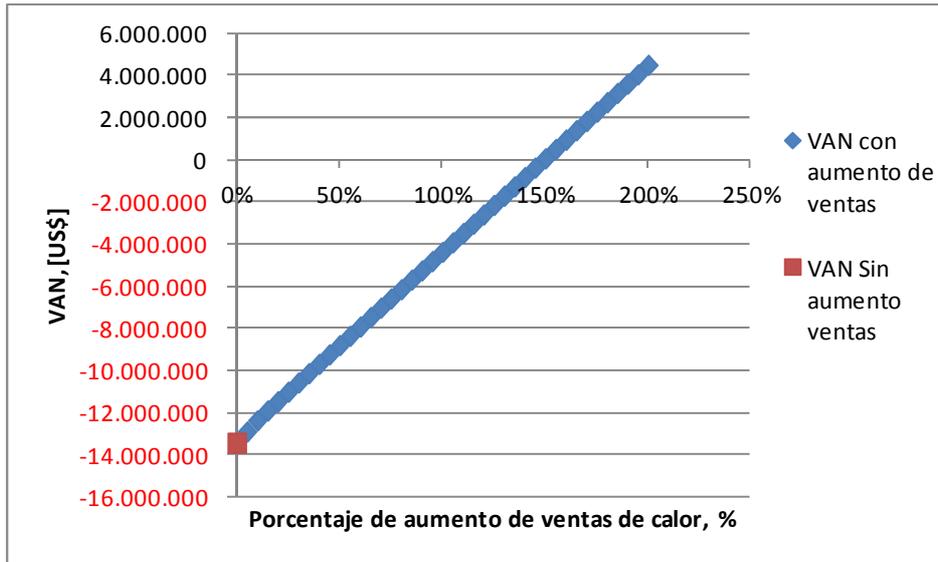


**Figura 4.9: Análisis de sensibilidad para aporte de clientes en inversión en viviendas.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 4.10: Análisis de sensibilidad del proyecto frente a aumentos en el precio del calor.**

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 4.11: Análisis de sensibilidad por aumento en ventas de calor.**

(Fuente: Elaboración propia)

En la figura 4.9 se observa que el proyecto es rentable una vez que los suscriptores pagan un 198,5% del costo de adaptación de sus viviendas, es decir, pagan su instalación particular más un 98,5% adicional. Eso es muy poco esperable. Si los clientes pagaran íntegramente su instalación domiciliaria solamente (el 100% de la inversión en viviendas), el VAN del proyecto sería de -6.577.985 [US\$].

La figura 4.10 muestra que el proyecto se vuelve rentable cobrando una tarifa mayor o igual a 17,84[\$/kWh], es decir, 2,5 veces el precio estimado originalmente de 7,15 [\$/kWh]. Se debe precisar que, si bien lo anterior puede desalentar la incorporación de los clientes, en la

tabla 3.2 se observa que el precio de 17,84 [\$/kWh] es inferior a cualquier alternativa de calefacción distinta del gas natural con el precio actual bonificado. Esta observación es fundamental si se piensa en un escenario sin gas natural a bajo costo en la región, en donde el proyecto toma alto potencial. Sin gas natural a bajo costo el menor precio de calefacción correspondería a 23,67 [\$/kWh] (mediante uso de bomba de calor, de tabla 3.2. Sin considerar que sin gas natural el costo de la energía eléctrica debería aumentar de manera considerable), por lo que si se considera ese precio para el calor distrital el VAN del proyecto es de 7.225.116 [US\$].

Una observación adicional al análisis de precio del calor es considerar la probable apreciación de los suscriptores frente a la propuesta de valor ofrecida. En tal caso, es esperable que la disposición al pago aumente, de la misma manera que ocurre frente a los productos y servicios sustentables<sup>143</sup>.

La figura 4.11 muestra que el proyecto se vuelve rentable una vez que el volumen de calor vendido aumenta en un 150% con respecto al estimado, es decir, a 209.077.262 [kWh/año]. Si bien una mayor venta de calor puede requerir una mayor inversión (no olvidar que la red en estudio ya está sobre dimensionada para absorber crecimientos en la demanda a lo largo de 20 años) el ingreso marginal por suscripción de nuevos clientes es significativo frente al costo marginal de incorporarlo, sobre todo si no es residencial (público o industrial). Se constató en terreno el potencial de clientes que no están considerados en este informe y que pueden ser incorporados al servicio (apartado 3.2.2). De igual forma, se constató con vecinos de los barrios en estudio que las demandas de calor pueden eventualmente ser superiores a las estimadas.

A modo de ejemplo, se analiza un cuarto caso bajo estos supuestos, considerados factibles:

- Los clientes pagan un 10% de su instalación (aprox. \$200.000, lo que representaría cuotas de \$16.600 mensuales por un año)<sup>144</sup>.
- El consumo es un 100% superior al estimado.
- El precio del calor es de 11,85[\$/kWh], correspondiente a la mitad del costo del [kWh] usando bombas de calor en Punta Arenas (alternativa más económica de tabla 10.2).

En este caso el VAN del proyecto asciende a 7.929.953 [US\$].

De este último análisis se puede concluir que el proyecto tiene potencial de mejorar al extender el alcance de clientes potenciales en estudio y al desarrollar un estudio de mercado en detalle, más aun si en tal caso se consideran ingresos por venta de bonos de carbono, prestación de servicios adicionales, acuerdos de traspaso de bonificación, eventuales ayudas de organizaciones como la AChEE, etc.

---

<sup>143</sup> En donde el 27% de las personas es favorable a un pago mayor, encuesta de McCann Erickson (Constenla, 2012).

<sup>144</sup> Se constató en terreno que en los barrios en estudio ya existen viviendas con sistemas de calefacción central instalada y operando. Por lo anterior, el monto de aporte estimado y el poder adquisitivo de los sectores, este valor es más que factible. De Gamma 2012 se sabe que los habitantes de la región presentan disposición a dar aportes monetarios para sistemas que mejoren la eficiencia en el uso de energía.

Se concluye el análisis de sensibilidad con información extraída de la literatura<sup>145</sup>: “*Hoy día existen posibilidades muy interesantes de financiamiento, de tipo leasing o de arrendamiento de muy bajo costo, a tasas de 5 a 7% al año en dólares y a plazos de cinco a diez años. Las fuentes de financiamiento son los Bancos y las empresas fabricantes de equipos. En este sentido bastaría disponer de un capital fresco de no más del 15% de la inversión total.*”. El estudio tiene potencial de mejoramiento bajo un escenario de financiamiento de parte importante de la inversión.

## 5. Modelo de gobierno del servicio de venta de calor por red distrital.

La Constitución Política de la República de Chile establece en su artículo N° 21 “*El derecho a desarrollar cualquiera actividad económica que no sea contraria a la moral, al orden público o a la seguridad nacional, respetando las normas legales que la regulen*”. Es precisamente esto último lo que resulta de interés para la formulación de un modelo de gobierno para un servicio público de venta de calor mediante una red distrital: la no existencia de normativa legal específica que eventualmente regule un servicio de este tipo.

Se propone en este capítulo entregar recomendaciones que permitan una correcta operación del servicio a fin de que se pueda fomentar la tecnología dentro de un marco regulatorio que proteja a las partes (operadores y clientes) en un escenario de operación definido (propiedad y responsabilidades). Se introduce el capítulo con algunos ejemplos de modelos de operación de redes de calor distrital en el mundo, que pueden resultar de motivación o de interés para el análisis.

### 5.1. Ejemplos de modelos de gobierno

Resulta interesante conocer algunos ejemplos de cómo se desarrollan y controlan proyectos de calefacción distrital en países en donde la tecnología es ya madura y goza de éxito. De esta forma es posible pensar en la situación chilena conociendo casos exitosos en el extranjero.

#### 5.1.1. Jühnde, Alemania<sup>146</sup>

El caso del pueblo de Jühnde<sup>147</sup> representa la primera implementación de “villas bioenergéticas” en Alemania. El concepto de villas bioenergéticas consiste en el aprovechamiento de la biomasa en la generación de electricidad y calor que en el caso de Jühnde se aprovecha para calefacción distrital a partir de un proceso de cogeneración.

---

<sup>145</sup> Gamma, 2004.

<sup>146</sup> Informe a partir de Geldermann, 2011.

<sup>147</sup> Ubicado en Baja Sajonia, norte de Alemania. 800 habitantes, 9 granjas, 1.300 [Ha] de cultivos y 800 [Ha] de bosques.

Luego, el pueblo genera calor y electricidad<sup>148</sup> a partir de biomasa y desechos agrícolas de su propio entorno<sup>149</sup>.

Como antecedente a este caso se debe mencionar la existencia en Alemania de:

- **Ley de energías renovables (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG):** aprobada el año 2000. Fomenta el uso de energías renovables:
  - Establece un sistema de pagos que garantiza ingresos mínimos y diferenciados<sup>150</sup> sobre un periodo de 20 años para proyectos de generación eléctrica con ERNC.
  - Lo anterior resulta en ingresos fijos, transparentes y seguros. Se puede, entonces, evaluar proyectos bajo un escenario de certeza, fomentándolos.
- **Enmiendas de la EEG en 2004 y 2009:** Incentivo en el uso de biomasa para la generación de energía. Fomento en la generación de biogás a partir de biomasa.
- **Estatuto de condiciones generales de calefacción distrital:** Reglamentación sobre derechos y obligaciones de los proveedores del servicio. Tarifas no son reguladas por el estatuto, pero son controladas periódicamente por la oficina antimonopolio.

Los instrumentos legales, sumados a la ayuda de la Agencia alemana de recursos renovables y el Ministerio alemán de comida, agricultura y protección al consumidor facilitaron la obtención de financiamiento para el proyecto de 5,4 millones de euros. En tal caso los aportes fueron:

- 0,5 [mill.€] por parte de los mismos habitantes del pueblo.
- 3,4 [mill.€] de créditos bancarios.
- 1,5 [mill.€] por parte del Ministerio alemán de comida, agricultura y protección al consumidor.

Es razonable considerar que los créditos bancarios fueron obtenidos gracias al respaldo del gobierno alemán al proyecto, al mismo tiempo que fue posible conocer la rentabilidad del mismo por las garantías en tarifas eléctricas a partir de la EEG<sup>151</sup>.

---

<sup>148</sup> Calor por red construida para dicho fin. La electricidad por la red de distribución local.

<sup>149</sup> Lo que resulta relevante puesto que repercute en la disminución de la huella de carbono del pueblo (no existe transporte de combustibles).

<sup>150</sup> Según la fuente energética con que se esté generando.

<sup>151</sup> Gracias a la EEG, en Alemania se puede evaluar un proyecto de inyección de electricidad a la red sabiendo los ingresos que se obtendrán y sin ningún riesgo acerca de los cobros por transmisión y distribución por parte de los operadores.



**Figura 5.1: Proceso de conexión de viviendas en Jühnde, año 2005.**

(Fuente: Geldermann, 2011)

La comunidad desde el comienzo tuvo acceso a información mediante el desarrollo de talleres, reuniones con expertos y la creación de un comité. Dentro del contexto de experimentación en la implementación de la tecnología, las autoridades consultaron a los habitantes qué tipo de sistema era el que preferían dentro de las siguientes opciones (entre paréntesis los resultados de la votación):

- Cooperativa (78%)
- Sociedad de responsabilidad limitada y anónima (“GmbH & Co. KG”) (14%)
- Da igual (se suma a la mayoría, 8%)

De esta forma se buscó hacer partícipes del sistema a los habitantes: primero preguntándoles bajo qué modelo querían al sistema y luego permitiéndoles, vistos los resultados, hacerse cargo de éste.

El modelo de gobierno de cooperativa de este sistema en particular hace la distinción de tres tipos de agentes:

- Miembros del Grupo central de planificación, compuesto por:
  - Consejo municipal
  - Consejo del distrito
  - Representantes de clubes, sociedades y asociaciones
  - Consejo parroquial
  - Representantes de grupos de la tercera edad y adultos
  - Equipo universitario (Georg-August-University Göttingen)
  - Portavoces de los distintos comités del grupo central de planificación.
- Suscriptores del sistema (Clientes del servicio. También son parte del Grupo central de planificación).
- Agricultores y forestales (proveedores de energía del servicio, al mismo tiempo que pueden ser clientes de éste).

El modelo de cooperativa opera bajo el postulado de “un suscriptor, un voto” en la toma de decisiones, los suscriptores del sistema deben ser parte de la cooperativa (luego del pago de una cuota de ingreso). El ingreso de suscriptores y proveedores al sistema es voluntario (70% de los habitantes se suscribió). Los agricultores y forestales proveedores suministran

al sistema la materia prima para la generación del biogás utilizado, bajo el acuerdo de que su ingreso será como mínimo igual al que obtendrían con el trigo u otras actividades alternativas. El sistema tiene ingresos por venta de electricidad a la distribuidora eléctrica (que opera en el mismo pueblo con precios fijos según EEG) y venta de calor a los suscriptores.

A pesar de la estructura adoptada por los habitantes de Jühnde para la administración del sistema, son enfáticos en dejar en claro que no pretenden formar un sistema asimilable a un micro sistema de economía centralizada o socialista; sólo buscan mejorar sus condiciones de vida al mismo tiempo que fortalecen su economía local (disminución de costos, aumento de empleos, retención de riqueza en el pueblo y aumento en la demanda de los productos que ellos producen).

El sistema en sí y la forma en que se implementó generó cambios a nivel de,

- Reordenamiento de la cultura rural.
- Formación de comportamiento democrático mediante la participación en la vida política y en la toma de decisiones sociales durante el proceso de planificación.
- Cambios en las estructuras sociales y económicas del pueblo.
- Cambios personales y de bienestar social.
- Mejoramiento en condiciones ambientales.
- Disminución en la dependencia alemana frente a combustibles extranjeros.

### 5.1.2. Copenhague, Dinamarca<sup>152</sup>

La tecnología de calefacción distrital tuvo su máximo desarrollo en Dinamarca en la década de 1970, coincidiendo con las crisis del petróleo. Desde entonces las autoridades han buscado el reemplazo paulatino del gas natural y el petróleo por fuentes renovables (geotermia, biomasa y energía solar), al mismo tiempo que se ha impulsado el mejoramiento de las eficiencias en los procesos de generación y uso de energía.



**Figura 5.2: Planta de cogeneración a partir de desechos, propiedad de las municipalidades de Dragør, Frederiksberg, Hvidovre, København y Tårnby en Copenhague, Dinamarca.**

(Fuente: Elsman, 2009)

---

<sup>152</sup> Informe a partir de Elsman, 2009.

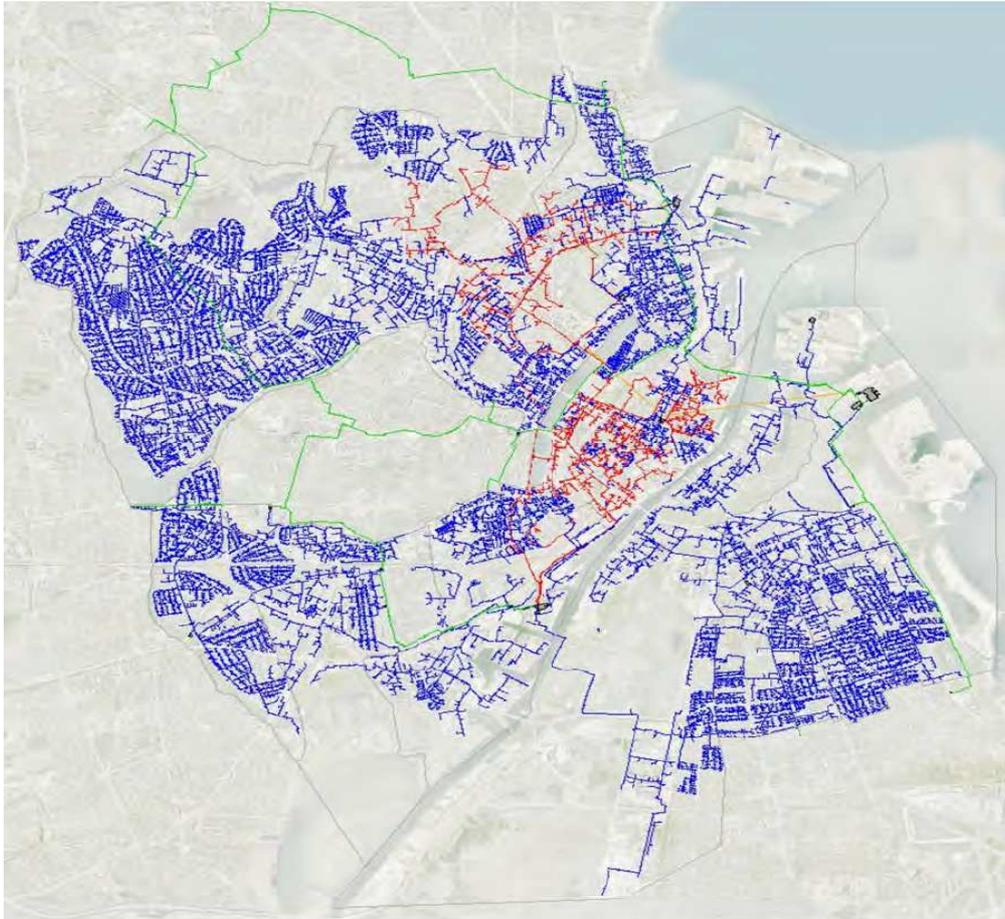
El principal ejemplo del desarrollo tecnológico en Dinamarca se observa en el sistema de su capital, Copenhague. Dicho sistema provee 33.000 [TJ/año] a 30.000 clientes que representan a 500.000 habitantes de la ciudad. El sistema de generación de calor se basa en el proceso de cogeneración, a partir de una matriz diversificada con el fin de flexibilizar la generación, asegurar el suministro, aprovechar los desperdicios y basura y disminuir la vulnerabilidad del sistema frente a fluctuaciones en los precios internacionales. El sistema comprende la existencia de compañías distribuidoras y transmisoras de calor. El distribuidor de calor es operado por la *Copenhagen Energy Ltd.*, empresa limitada pública y sin fines de lucro que es propiedad de la Municipalidad de Copenhague, prestadora de los servicios de agua potable, alcantarillado, gas de ciudad y calor (en sistemas de agua caliente o vapor<sup>153</sup>) ó frío (en meses de verano). La empresa atendía para el año 2009 un mercado de 370 [mill.€/año] con una planta de 190 empleados.

El servicio de transmisión, es decir, de transporte de calor desde las plantas generadoras (por ejemplo, figura 5.2) hasta los sistemas de distribución locales (líneas verdes en figura 5.3), es realizado por la empresa *Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company* (CTR), de la que es propietaria la municipalidad de Copenhague en un 70% (el 30% restante es propiedad de las municipalidades circundantes).

El sistema de distribución de calor se sustenta bajo el modelo de adquisición de calor a generadoras eléctricas privadas por parte de distribuidores y transmisores municipales o pertenecientes a cooperativas de empresas y/o ciudadanos daneses.

---

<sup>153</sup> El sistema de vapor tiene su origen en la necesidad de algunos establecimientos (hospitales e industrias, por ejemplo) de contar con energía térmica de esta forma. En la actualidad un cuarto del total de la red corresponde a sistemas de distribución de vapor, existiendo interconexión entre este sistema y el de agua caliente. En tal caso la transición entre sistemas se realiza mediante turbinas de vapor, por lo que se aprovecha la energía del vapor en su transición a agua caliente para la generación eléctrica. En la actualidad se desarrolla un plan de conversión de la red de vapor a fin de uniformizar el sistema a agua caliente.



**Figura 5.3: Red de distribución de calor de la ciudad de Copenhague, Dinamarca.**  
 (Azul: distribución de agua caliente; rojo: distribución de vapor; verde: línea de transmisión de calor)  
 (Fuente: Elsman, 2009)

Los puntos en que se sustenta el sistema son los siguientes:

- Los aspectos legales y normativos que gobiernan a los sistemas de generación de electricidad y calor, de estándares ambientales y de planes de energía apuntan a la penetración de la cogeneración y de la calefacción distrital como fin último.
- El “Acta de suministro de calor” de 1979 establece que las municipalidades pueden definir áreas de calefacción distrital en donde los municipios tienen la facultad de obligar a los dueños de los bienes raíces a conectarse a la calefacción distrital. Dentro de las áreas de suministro de calor se evita la competencia entre proveedores de calor o distribuidores de gas (siendo este un combustible entendido como “socialmente costoso”) mediante la zonificación que la municipalidad establezca. De igual forma, desde el año 1988 se encuentra prohibida la calefacción eléctrica en las áreas de calefacción distrital.
- Las municipalidades tienen la obligación de emprender planeamientos de calor y asegurar que el calefaccionamiento de los edificios es realizado de la forma más económica para la sociedad.
- Los habitantes de las áreas de calefacción, conectados o no a la red, deben pagar una participación en la inversión de la red de calefacción distrital. Esto fuerza a la

calefacción distrital a ser por lejos la opción más económica para los consumidores del área. De esta forma se logra alinear la conveniencia del individuo y la de la sociedad, puesto que a mayor conexión de gente, menores costos. La obligatoriedad de suscripción repercute en que un 98% de las viviendas de la ciudad estén incorporadas al sistema.

- De la misma manera, el “Acta de suministro de calor” de 1979 establece que las compañías de calor son sin fines de lucro y que el costo del calor que ve el cliente es el de producirlo y distribuirlo. Luego, las compañías tienen la obligación de suplir calor suficiente de manera satisfactoria y segura al mínimo precio, sin incluir de ninguna forma beneficios o dividendos a los dueños de la compañía de calor distrital.
- Se obliga a generar electricidad y calor a partir de 1,4 millones de toneladas anuales de aserrín y paja de desecho de actividades agrícolas y forestales.
- Se libera de impuestos a la generación de electricidad a partir de biomasa o fuentes renovables. La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles está afecta a impuestos.
- Obligatoriedad, por ley, de reducir la demanda térmica por parte de las compañías distribuidoras de calor. En particular, la *Copenhagen Energy* tiene la obligación de reducir la demanda de energía en 42 [GWh/año] en el periodo 2006-2013. Para cumplir lo anterior ofrece servicios de mejoramiento de aislación en edificios y ahorro en sistemas eléctricos. Esta actitud y la no existencia de conflicto de intereses pueden ser explicadas por el hecho de que las compañías de distribución de calor son públicas y sin fines de lucro.

En contraste con el sistema de distribución de calor, que es regulado por los municipios y sin fines de lucro, el mercado de la generación eléctrica es libre y operado por compañías municipales y dos grandes agentes privados que suministran su calor del proceso de cogeneración a la red de calor. El proceso de compra de calor para la red sigue la siguiente lógica:

- En los primeros 12 años del contrato de adquisición de calor a una planta de cogeneración, el beneficio por disminución en el uso de combustibles es capturado de manera íntegra por la compañía de calor.
- Después de los 12 años los beneficios de reducción en consumo de combustibles se dividen en partes iguales entre el dueño de la generadora eléctrica y la compañía de calor.
- De lo anterior se explica la existencia de ingresos que puedan crear, mejorar y expandir las redes de distribución de calor mediante fuertes inversiones.

La existencia de sólo dos compañías generadoras de electricidad privadas, la fuerte dependencia de la red de distribución de calor con ellas y la necesidad de mantener condiciones de libre competencia en el mercado eléctrico han llevado a que sean las compañías de calor las que se encarguen de la optimización del sistema:

- La libre competencia impide que un operador eléctrico sepa cómo va a actuar su competidor o que éstos se pongan de acuerdo en su actuar.

- Sin embargo, es necesario que estos dos agentes operen de una manera tal que permita la optimización de los recursos y la correcta operación del sistema de calor, subordinado a la generación eléctrica por cogeneración.
- Luego, son las compañías de calor (que no generan ingresos ni negocian en el mercado eléctrico) las encargadas de hacer el análisis a nivel de la gran ciudad y establecer las rutinas de generación eléctrica y calor de cada operador eléctrico.
- Lo anterior se desarrolla optimizando la generación de calor al mínimo precio posible, hora por hora. Los desfases entre la generación eléctrica y la generación de calor se absorben mediante termos ubicados en diversos puntos de la ciudad.

Por último, resulta interesante mencionar la existencia de las siguientes figuras relacionadas con el sistema:

- Embajador del consumidor: Agente interventor del consumidor frente a las compañías proveedoras de calor. Resultan necesarios para el consumidor bajo el escenario de monopolio natural y obligatoriedad de suscripción en el que operan las compañías de calor a fin de garantizar los derechos del suscriptor.
- Asociación danesa de calefacción distrital<sup>154</sup> (D.D.H.A., sigla a partir del inglés). Agrupación de 400 compañías de calefacción distrital en Dinamarca (98% del total) que busca tener influencia decisiva en las políticas energéticas (obligaciones, tarifas, políticas ambientales, etc.) para mantener la posición de liderazgo en calefacción distrital del país. Dentro de las actividades de la D.D.H.A. se encuentran:
  - Consolidar la información técnica y estadística existente y ponerla a disposición de todos los socios.
  - Asesoría en materias ingenieriles, económicas, legales, políticas, comunicacionales, etc.
  - Asegurar que la calefacción distrital es materia de interés para las autoridades.
  - Servicios especiales a miembros (entrega de información, actualizaciones constantes, etc.)

Anecdótico resulta que el propio suscriptor sea el encargado de tomar la lectura de su consumo de calor distrital y enviar los resultados por internet para su facturación. La compañía toma lectura de sus clientes cada dos años para asegurar el buen funcionamiento de los medidores y que las declaraciones corresponden a la realidad.

## 5.2. Formulación de modelo de gobierno para servicio de calefacción distrital

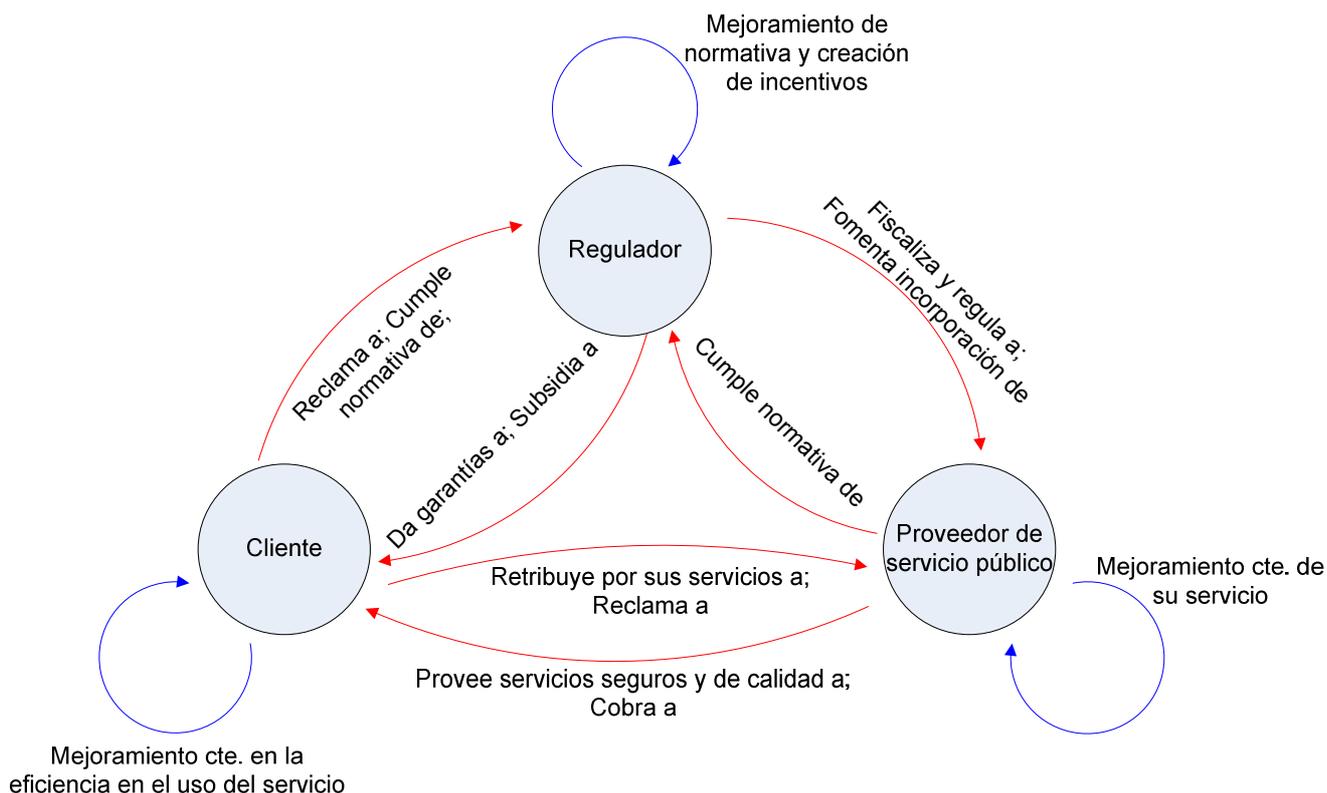
Se introduce la formulación del modelo de gobierno con un esquema básico del funcionamiento deseado para cualquier servicio público. A partir de ahí se establecen los objetivos específicos de un modelo de gobierno para finalizar el subcapítulo con su formulación de lineamientos principales.

---

<sup>154</sup> <http://www.fjernvarmen.dk/In%20English.aspx>

## 5.2.1. Esquema básico del funcionamiento de un servicio público

La figura 5.4 muestra a los tres agentes involucrados en la provisión de un servicio público (Agente regulador<sup>155</sup>, cliente del servicio y proveedor del servicio, representados con círculos), las responsabilidades y atribuciones que deben existir entre los agentes (flechas rojas) y las actividades que los agentes desarrollan para y por ellos mismos, fruto de actitudes positivas desde el punto de vista del bien común (denotadas con flechas azules).



**Figura 5.4: Interrelaciones entre agentes, responsabilidades-atributos y actitudes requeridas para el buen funcionamiento de un servicio público.**

(Fuente: Elaboración propia)

Se observa en la figura que el cliente del servicio tiene el derecho a reclamar al regulador<sup>156</sup> frente a problemas con el proveedor del servicio público al mismo tiempo que tiene la

<sup>155</sup> Se debe entender al agente regulador del servicio público como el organismo público (ya sea único o como un conjunto de organizaciones públicas) que puede llegar a tener incidencia en la ejecución del servicio, siendo un agente distinto al cliente y el proveedor mismo del servicio. Esta figura puede ser usada por las Superintendencias, Comisiones, Municipalidades, Sernac, etc.

<sup>156</sup> En este aspecto es interesante mencionar que “Reducir la condición de ciudadanos a clientes es un paso atrás y no al revés. Los ciudadanos son mucho más que clientes de servicios públicos, de hecho los ciudadanos son los **accionistas políticos y económicos de las administraciones públicas** y tienen muchos más derechos de los que están asociados al rol de cliente. Entre la Administración pública y la ciudadanía no hay un **contrato comercial** sino un **contrato social**.” (Ramíó Matas, 2010. “Externalización de servicios públicos y corrientes neo empresariales: los problemas de la administración relacional en el contexto de un gobierno multinivel”, p. 7).

responsabilidad de cumplir la normativa para recibir el servicio<sup>157</sup>. De la misma manera, el regulador presta garantías al cliente con respecto a la calidad y seguridad del servicio que el proveedor le brinda. Por otro lado, si aplica, es el agente regulador el encargado de establecer la entrega y mecanismos de beneficio a los usuarios del servicio<sup>158</sup>. Es responsabilidad del cliente retribuir de manera íntegra y oportuna al proveedor del servicio por la prestación del servicio, a la vez que tiene derecho a reclamar en caso de fallas o incumplimientos. Por último, por su propia conveniencia y la de la comunidad, es deseable que el cliente sea responsable y eficiente en el uso del servicio que se le provee.

El regulador entrega garantías a los clientes luego de fiscalizar y regular a los proveedores del servicio público con respecto al cumplimiento de la normativa (seguridad, calidad, tarifas, etc.). También tiene la capacidad de fomentar o no el desarrollo de servicios públicos mediante la formulación u omisión<sup>159</sup> de políticas públicas que respalden su accionar. Es deseable que el agente regulador tenga una actitud de mejora constante en sus procedimientos y parámetros para actuar, al mismo tiempo que fomenta el accionar de nuevos entrantes en los mercados o la incorporación de servicios novedosos. Se debe señalar que bajo un escenario de servicio público de propiedad pública (por ejemplo, el caso danés) el agente regulador y el proveedor de servicio pasan a responder a los intereses de un único agente, el Estado, que a su vez defiende el bien común.

En el caso del proveedor del servicio, éste tiene por finalidad (y obligación, si tuviera la figura de concesionario) el entregar de manera satisfactoria y oportuna su propuesta de valor a los clientes, de quienes recibe retribuciones monetarias a cambio. Se debe cumplir las exigencias del agente regulador, expresadas mediante la normativa existente, para todas las actividades o acciones que eventualmente comprenda la prestación del servicio. Un ejemplo de las actividades reguladas en la prestación de un servicio se desprenden del artículo N° 3 del reglamento N° 67 de servicio de gas de red, en donde se establece que la prestación del servicio es controlada en:

- *“Condiciones y procedimientos para el ofrecimiento e inicio del servicio, suspensión, reposición y término de éste;*
- *Condiciones de construcción o instalación, operación y mantenimiento de empalmes y medidores;*
- *Oportuna atención y solución de emergencias, accidentes, interrupciones de suministro y otros imprevistos;*
- *Adecuada transparencia e información a los clientes y consumidores, antes y durante la prestación del servicio; y*

---

<sup>157</sup> Por ejemplo, como ocurre con los sellos verdes ó rojos en las instalaciones de gas de los edificios de departamentos.

<sup>158</sup> Por ejemplo, en el caso del gas natural en Punta Arenas el responsable de bonificar las tarifas de consumo residencial es la misma Enap, pero de acuerdo a las normativas legales que SEC se encarga de hacer cumplir como regulador del servicio.

<sup>159</sup> “(...) el aporte del Estado no está limitado a su acción, también alude a la ‘no acción’, a los discursos y a los silencios, donde la omisión significa en un momento dado la validación de la correlación de fuerzas, el mantenimiento del orden social y la hegemonía de un grupo social por sobre otro” (María José Pérez Bravo, 2010, “Análisis de la dimensión simbólica de las políticas públicas: algunas claves para comprender los problemas de implementación”, p. 3).

- *Condiciones de calidad del servicio.*”

Es deseable que el proveedor de servicios públicos presente una actitud constante de innovación y mejora a fin de acrecentar su propuesta a los clientes, disminuir sus precios y ser más eficiente en el uso de los recursos del país.

Por último se debe mencionar la figura de los agentes que no están involucrados en la prestación del servicio (no son clientes, ni proveedores ni tampoco reguladores) pero que pueden llegar a verse afectados por su existencia. En tal caso es responsabilidad del agente regulador velar por el bienestar social.

### **5.2.2. Objetivos del modelo de gobierno**

La formulación del modelo de gobierno busca establecer los mecanismos de acción y responsabilidades frente a las siguientes actividades o situaciones:

1. Instalación y operación del sistema de calefacción distrital:
  - 1.1. Cumplimiento de normativa ya existente y que es aplicable a sistemas de calefacción distrital.
  - 1.2. Propiedad.
  - 1.3. Seguridad en la operación y calidad de la prestación del servicio.
  - 1.4. Regulación en la relación cliente/empresa:
    - 1.4.1. Cobro.
    - 1.4.2. Cortes del servicio.
2. Regulación de precios.
3. Arbitrio entre operadores del servicio.
  - 3.1. Consideraciones para la incorporación de nuevos operadores a los sistemas.
4. Fomento de la tecnología.
  - 4.1. Facilitar y fomentar la creación de redes de DH en donde pueda ser favorable.
  - 4.2. Entrega de eventuales subsidios (si el servicio es beneficioso para la comunidad), aportes del gobierno, etc.

### **5.2.3. Formulación**

De acuerdo a los puntos del apartado anterior se formula una recomendación de modelo de gobierno.

1. Instalación y operación del sistema de calefacción distrital
  - 1.1. Cumplimiento de normativa ya existente y que es aplicable a sistemas de calefacción distrital.

La tabla 5.1 resume la normativa aplicable a sistemas de calefacción distrital. Cada una de estas disposiciones debe ser supervigilada por el organismo público atinente y pertinente.

**Tabla 5.1: Normativa aplicable al sistema de calefacción distrital en Punta Arenas.**

Normativa aplicable	Influencia sobre el proyecto
Constitución política de la República de Chile.	La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente, la moral, el orden público y la seguridad nacional.
Ley 19.300 de Bases del medio ambiente.	Determina la pertinencia del Sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) en relación al proyecto.
D.S. N° 30/97, modificado por el D.S. N° 95/01, Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental.	Define si el proyecto debe ser analizado desde la óptica de un DIA o un EIA.
Ley 17.288, Legisla sobre monumentos nacionales.	Restringe la implementación del proyecto en lugares declarados como monumento nacional.
D.S. N° 484/90, Reglamento de la Ley N° 17.288, sobre excavaciones y prospecciones arqueológicas, antropológicas y paleontológicas.	Restringir la implementación del proyecto en lugares que eventualmente pueden presentar interés arqueológico, antropológico ó paleontológico.
D.S. N° 146, establece normas de emisiones de ruidos molestos generados por fuentes fijas.	Establece un límite de emisiones acústicas.
Código Sanitario Decreto N° 1191/96, Título II, párrafo III, de los desperdicios y basuras.	Establece mecanismos de eliminación de residuos de la actividad industrial.
D.F.L. N° 725/67, Código sanitario.	Adjudica a la SEREMI de salud la responsabilidad de vigilar el manejo y almacenamiento de desperdicios, autorizar la instalación del proyecto.
D.S. N° 185/91 sobre funcionamiento de establecimientos emisores de anhídridos sulfurosos, material particulado y arsénico en todo el territorio de la República.	Restringe las emisiones durante la implementación, operación y cierre del proyecto.
D.S. N° 48. Reglamento de calderas y generadores de vapor. MINSAL.	Establece normativa para operación de calderas y generadores de vapor.
D.S. 59/98, Establece normas de calidad primaria para material particulado respirable MP10.	Se establece la obligatoriedad de controlar la emisión de MP10.
D.S. N° 115/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma de calidad primaria de aire para monóxido de carbono.	Se establece la obligatoriedad de controlar la emisión de CO.

<b>Normativa aplicable</b>	<b>Influencia sobre el proyecto</b>
D.S. N° 114/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Norma de calidad primaria de aire para dióxido de nitrógeno.	Establece la obligatoriedad de controlar la emisión de NOx.
D.S. N° 90/00 Establece la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.	Establece los procedimientos y limitantes para la descarga de aguas tratadas (de red o caldera) a aguas marinas o continentales superficiales.
D.F.L N° 1122/81, Código de aguas.	Establece la regulación en el uso y aprovechamiento de aguas terrestres superficiales y subterráneas
D.F.L. N° 1/82, Aprueba modificaciones al D.F.L. N° 4/59, Ley general de servicios eléctricos.	Establece regulación en el proceso de generación, transporte, distribución y uso de energía eléctrica.
D.F.L. N° 458/76. MINVU.	Mediante el establecimiento de la Ley general de urbanismo y construcciones regula el desarrollo urbano y su equipamiento.
D.S. N° 47/92. MINVU.	Establece la ordenanza general de urbanismo y construcciones en el país.
Ordenanza plan regulador comunal de Punta Arenas. Municipalidad de Punta Arenas.	Establece plan regulador para la ciudad de Punta Arenas.
D.F.L. N° 323/31. Ley de servicios de gas.	Establece regulación especial para la XII región en el precio del gas natural distribuido.
Ley 19.496 de 1997. Ley del consumidor.	Establece derechos y deberes de clientes y prestadores de servicios públicos.
Ley N° 19.911 de 2003. Crea el tribunal de defensa de la libre competencia.	Establece la creación de un tribunal que vele por la existencia de la libre competencia en todo el sector económico.

(Fuente: POCH 2010, corregido y adaptado a la realidad de Punta Arenas por el autor).

De acuerdo al marco legal anterior deberán actuar las autoridades de acuerdo los requerimientos que se presenten. Sin perjuicio de lo anterior, lo óptimo recaería en la existencia de un reglamento específico para calefacción distrital que comprenda y considere a todas aquellas situaciones o requerimientos que son propios de este tipo de servicio.

## 1.2. Propiedad

La atribución de propiedad sobre los activos comprendidos en el sistema de calefacción distrital debe estar bien definida desde el momento en que se implementa el proyecto, así

como también las responsabilidades que pueda tener un agente en relación a la propiedad de un tercero en las etapas posteriores.

En el caso propuesto en este trabajo, la propiedad sobre activos así como las responsabilidades que su tenencia y operación conllevan, recaen de manera exclusiva en el operador del sistema o de quien éste disponga. El operador también es propietario de los equipos dispuestos en las propiedades de los suscriptores, exceptuando aquellos equipos que hayan sido adquiridos por cuenta del suscriptor o que se deduzcan de la cuota de incorporación que el cliente eventualmente haya podido aportar. Es entonces el operador el responsable de reparaciones que se pudieran requerir en las propiedades de los suscriptores, siempre y cuando no se deban a mal uso por parte de éstos. La propiedad del agua de la red distrital recae en el operador, por lo que su sustracción indebida debe ser penada. De la misma manera, todo el calor circulante en la red es propiedad de el operador, por lo que cualquier extracción de calor del sistema que no se realice y mida en un empalme autorizado constituiría un robo, exceptuando las inevitables pérdidas de calor por transmisión en tuberías.

De todas formas, el atributo de propiedad y sobre quién recae dependerá del modelo en que se desee implementar el sistema de calefacción distrital (por ejemplo, cooperativa con propiedad compartida y privada como en Jühnde, empresa municipal con aporte de los suscriptores como en Dinamarca, etc.).

### 1.3. Seguridad en la operación y calidad de la prestación del servicio

- Seguridad:

El aseguramiento de la calidad y seguridad en la provisión del servicio recae en el proveedor del servicio público. El “Manual de instalaciones térmicas”<sup>160</sup> deja claro que los proyectos de calefacción y ACS domiciliarios no son revisados por entidades oficiales o por revisores independientes, por lo que es recomendado delegar la instalación a un especialista que actúe de acuerdo con el “Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable (AP) y alcantarillado (ALC)” (RIDAA).

En el caso de la red distrital pública también se deberá exigir las condiciones establecidas en el RIDAA bajo consideraciones consecuentes con la situación de uso de agua caliente presurizada en lugar de agua potable fría. De todas formas, bajo el cumplimiento de la normativa existente en tuberías de agua caliente y considerando que se proyectan cañerías enterradas, la red distrital no debería presentar peligro alguno para las personas.

La central generadora de calor debe operar de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 48 del MINSAL.

- Calidad del servicio:

Se debe garantizar que todos los suscriptores indistintamente reciban el servicio en condiciones y cantidades adecuadas para su satisfacción aún bajo las mayores exigencias. Lo anterior repercute en la entrega del servicio con adecuada(o):

---

<sup>160</sup> Cámara chilena de la construcción y Cámara chilena de la refrigeración y climatización. p. 8.

- Presión de suministro del agua de red
- Caudal de suministro de agua de red
- Temperatura de suministro de agua de red
- Calidad del agua de red.

De la misma manera en que se exige condiciones mínimas para la prestación del servicio al proveedor, es necesario regular cómo el cliente recibe el servicio. Se desprende la necesidad de establecer obligatoriedad por parte del cliente en relación a:

- La instalación de válvulas balanceadoras de presión en caso de modificaciones en la conexión a la red.
- Asegurar que la diferencia de temperaturas entre el agua que extrae de la red (desde el suministro) y la que devuelve (al retorno) cumple un mínimo que asegura que la extracción de calor es eficiente y minimiza el transporte de agua en la red. Se establece un diferencial de 11,1° C, valor utilizado en el diseño, como el mínimo a exigir.
- Asegurar que su consumo de calor es acorde con la potencia máxima instalada en su vivienda con la cual se diseñó la red. De esta forma se evita, a través del uso responsable, ampliaciones e inversiones innecesarias.

#### 1.4. Regulación en la relación cliente/empresa

Todo hecho que pueda ser entendido como un acto propio de la relación cliente/empresa queda regido por la Ley 19.496 de 1997 ó Ley del consumidor. Luego, desde este instrumento legal se establece el proceder de los agentes reguladores frente a los deberes y derechos de las partes en situaciones de normal funcionamiento del servicio o eventualidades. Se deben precisar los procesos que se describen en los puntos siguientes y que en el caso de la calefacción distrital resultan delicados.

##### 1.4.1. Cobro

El cobro por el servicio debe realizarse de manera obligatoria por unidad de energía suministrada al cliente (ya sea Cal, Wh ó BTU) y ninguna otra (por ejemplo metro cúbico de agua suministrada o tiempo de uso del servicio). De esta forma se eliminan riesgos de mal uso por parte de los clientes<sup>161</sup>, de heterogeneidad en la calidad del servicio suministrado<sup>162</sup> o aprovechamiento del proveedor del servicio.

##### 1.4.2. Cortes del servicio

El proveedor del servicio de calefacción distrital además de tener la facultad de cortar el suministro por no pago del servicio en sí debe tener la posibilidad de poder efectuar el corte

---

<sup>161</sup> Caso de cobro por tiempo de uso del servicio. En tal caso el cobro es independiente de la energía efectivamente suministrada al cliente. En este escenario es esperable que cliente del servicio lo use a la máxima potencia siempre (incluso regulando la temperatura ambiente del hogar mediante ventilación, escenario nefasto), resultando ineficiente y costosa la operación de la red.

<sup>162</sup> Es el caso del cobro por unidad de volumen de agua de la red a la que el cliente le extrae calor, por ejemplo metros cúbicos. En tal caso, producto de las inevitables pérdidas de calor en la transmisión del agua caliente, el servicio que recibiría el primero y el último de los clientes sería muy distinto en perjuicio del cliente más alejado de la planta generadora de calor.

del servicio eléctrico frente a morosidades<sup>163</sup>. Esto solo podrá ser efectivo si existe un acuerdo previo y por escrito en donde el cliente acepta dicha condicionante para su suscripción al servicio de calefacción distrital. De esta forma se busca comprometer al cliente con su suscripción a fin de garantizar al proveedor que su inversión en captación y atención de clientes será retribuida. De la misma manera, bajo esta configuración se beneficia la incorporación de generadores eléctricos como cogeneradores para redes de calefacción distrital: se asegura el pago, se hace más eficiente el cobro (integrándolo al cobro de la energía eléctrica) y se crea responsabilidad en el cliente.

## 2. Regulación de precios

Puesto que el servicio de calefacción distrital no constituye un monopolio natural<sup>164</sup> la regulación de precios, ya sea por normativa o influencia del tribunal de libre competencia, no aplica. El prestador del servicio podrá fijar la tarifa de la forma que estime para ser competitivo y generar demanda de su servicio.

En casos en que el servicio pueda constituir un monopolio natural (por ejemplo, escenario de agotamiento de gas natural en Punta Arenas y provisión exclusiva del combustible al generador eléctrico) será necesaria la regulación. En tal caso resultaría apropiado hacer una analogía con los distribuidores eléctricos. En tal caso las tarifas se regulan de tal forma que estas empresas puedan tener rentabilidades de un 10% por sobre sus inversiones, asumiendo que operarán en condiciones de eficiencia.

## 3. Arbitrio entre operadores del servicio

Un aspecto que debe ser considerado es la incorporación de nuevos agentes. La normativa tiene que fomentar el atractivo de la tecnología para la incorporación de nuevos operadores, ya sean estos generadores, transmisores (como los existentes en Dinamarca) o distribuidores. Igualmente, la normativa tiene que ser capaz de establecer las bases para la operación armónica de todos los operadores involucrados.

Nuevamente, al no ser un monopolio natural, los beneficios que puedan obtener los operadores por su accionar no deben ser regulados, pero deberán ser tales que existan incentivos y que el cliente final sea favorable al servicio.

Para el traspaso de pagos o peajes entre operadores se deberá maximizar siempre la eficiencia del sistema. Por ejemplo, un transmisor deberá cobrar por sus servicios de transporte de energía considerando factores de corrección por la temperatura del agua; de

---

<sup>163</sup> Distinto a lo que ocurre con los servicios de gas de red y agua potable en donde los reglamentos prohíben el corte del servicio por no pago de cargos ajenos a la prestación de dichos servicios en sí. De esta forma se busca proteger al cliente de cortes de servicios de importancia vital (para beber y cocinar). Diferente es el caso del servicio eléctrico en donde es posible, previo acuerdo firmado, el corte del servicio por no pago de otros cargos (que es lo que en la práctica ocurre en las comunidades de copropiedad frente al no pago de gastos comunes).

<sup>164</sup> El cliente cuenta con diversas alternativas (combustibles, electricidad, etc.) independiente si son peores o menos eficientes que la calefacción distrital. En un escenario de vacío legal en materia de tarifas de calefacción distrital resulta recomendable que el cliente mantenga su antiguo sistema de calefacción después de su suscripción al servicio como medida de presión para asegurar la propuesta de valor del proveedor.

esta manera se penalizaría el bombeo de altos caudales de agua a baja temperatura y se premiaría caudales pequeños a altas temperaturas.

#### 4. Fomento de la tecnología.

Es necesario que el modelo de gobierno contenga una componente que fomente la tecnología y que además la vuelva sustentable en el tiempo.

En relación a lo anterior resultan reveladores los siguientes párrafos, extraídos de POCH 2010<sup>165</sup>, que dan cuenta de la experiencia sueca:

*“En el caso de Suecia por ejemplo, queda en evidencia la importancia que ha tenido en el desarrollo de la calefacción distrital el constante apoyo por parte del estado o gobierno de turno. De no ser por la iniciativa del gobierno, el concepto de calefacción distrital no se hubiese desarrollado en los niveles actuales*

*En un comienzo la implementación de sistemas de DH era subsidiado por el estado (vía impuestos), y con administración y gestión privada regulada por una normativa flexible pero con alto control en lo que respecta a posibles abusos en el cobro de tarifas”.*

#### 4.3. Facilitar y fomentar la creación de redes de DH en donde pueda ser favorable.

Puesto que ha demostrado ser lo más eficiente y provechoso en el desarrollo de redes de calefacción distrital, se debe fomentar el desarrollo de la cogeneración como la base de las redes (caso danés). Para lo anterior es fundamental contar con un marco regulatorio que garantice que la energía eléctrica podrá ser inyectadas a las redes de transmisión o distribución (fomento del acceso) de manera favorable para el generador (fomento de la competitividad). Una normativa que asegure las remuneraciones de los cogeneradores por inyecciones a la red, análogo a lo que ocurre con la EEG alemana, asoma como una excelente alternativa. De igual manera, el aprovechamiento de sus calores residuales disminuye emisiones y genera externalidades positivas en el entorno, por lo que se debería facilitar los mecanismos de evaluación ambiental de los proyectos.

Por otro lado, las fuertes sumas de inversión hacen que eventuales apoyos en créditos o aportes por parte del Estado faciliten la creación de nuevas redes.

#### 4.4. Entrega de eventuales subsidios.

En vista de que la calefacción distrital mediante cogeneración disminuye la dependencia del país frente a energéticos foráneos, disminuye la emisión de contaminantes, mejora las condiciones ambientales al interior de las viviendas, implica ahorro en subsidios a combustibles, etc.<sup>166</sup>, el Estado incurre en ahorros que pueden ser traspasados a los suscriptores y operadores de calefacción distrital. En el caso particular de Punta Arenas puede existir un traspaso del subsidio del gas a la tarifa del calor distrital. El traspaso del subsidio puede capturarlo el generador pudiendo de esa forma ofrecer una tarifa más competitiva; o el suscriptor directamente en su factura final.

---

<sup>165</sup> p. 41 y 42.

<sup>166</sup> A modo de ejemplo, Peirano (2009) constata que el costo social anual de una vivienda que se calefacciona con leña en Temuco es de \$660.000.

## 7. Recomendaciones y Conclusiones

### 7.1. Recomendaciones

El autor del presente trabajo se permite formular las siguientes recomendaciones a cualquier lector que pueda estar interesado en el presente estudio o en el desarrollo de la calefacción distrital en Chile:

- Ante cualquier tipo de decisión o análisis que se pueda generar a partir de este trabajo es necesario tener muy presente la metodología y los supuestos empleados en su desarrollo.
- Es deseable el desarrollo de memorias en ciencias básicas aplicadas a las problemáticas reales del país. El desarrollo de la calefacción distrital podría servir de base para la elaboración de diversos trabajos de título tanto para ingenieros mecánicos, industriales, eléctricos o hidráulicos, también ingenieros comerciales y licenciados en leyes quienes desde su área de formación pueden abordar en detalle alguno de los diversos aspectos que componen al servicio de calefacción distrital. Se recomienda seguir trabajando en la materia.
- De existir futuros estudios a partir del presente, puede ser interesante repetir el análisis pero considerando a los hipotéticos clientes que se detallan en el apartado 3.2.2. De igual forma, puede ser interesante estudiar el aprovechamiento de la totalidad de los gases de escape de generación de la central Tres Puentes mediante la implementación de un sistema de almacenamiento de calor.
- A pesar de los resultados negativos que arrojó la evaluación económica no se debe descartar a priori la implementación de calefacción distrital en Punta Arenas, puesto que:
  - Considerando la existencia de innegables externalidades positivas que para el país presenta la calefacción distrital, es necesaria la confección de una evaluación económica desde el punto de vista social para el proyecto. De esta forma se conocen los beneficios privados, sociales y para el Estado que se podrían generar.
  - Una evaluación económica más detallada permitiría conocer los ingresos efectivos que podría capturar el operador por concepto de venta de bonos de emisiones de contaminantes. De igual manera se puede estimar el ahorro que incurriría Enap por ahorro de subvenciones.
  - La elaboración de un estudio de mercado exhaustivo permitiría conocer de manera segura la verdadera disposición al pago e incorporación de los suscriptores.
  - En línea con el punto anterior sería interesante contrastar la demanda de calor calculada en el presente trabajo con la obtenible siguiendo la metodología propuesta por Gamma (2012). En tal caso se estimó la demanda térmica de los hogares más vulnerables de la ciudad de Punta Arenas a partir del análisis de sus cuentas de gas natural.
- Asumiendo que las demandas de calefacción en toda la XII región son significativas y que hay ciudades (Puerto Natales, Porvenir y Puerto Williams) que presentan

generación eléctrica a partir de motores<sup>167</sup> se desprende que estudios de implementación de calefacción distrital aplicados a otros lugares de la XII región pueden ser de gran interés. Resultaría interesante el desarrollo de un caso demostrativo en una ciudad más pequeña de la XII región. En tal caso el desarrollador podría ser Edelmag, a fin de recabar experiencia aplicable para algún proyecto más importante en Punta Arenas.

## 7.2. Conclusiones

Al término del trabajo se constata que:

- A modo de introducción se desarrolló un informe general de la situación climática, demográfica, socio económica y energética (electricidad y combustibles) de la XII región, en particular para la ciudad de Punta Arenas.
- Se entregó detalles del denominado “Conflicto del gas” acontecido en el mes de enero del año 2011. Lo anterior puesto que es un antecedente importante del presente trabajo.
- Se introdujo el concepto de calefacción distrital a fin de dar a conocer al lector sus componentes, funcionamiento, beneficios y tecnologías disponibles para su implementación.
- Se elaboró, posterior a la introducción y exposición preliminar de la situación que motiva el trabajo de título, un análisis preliminar que permite acotar y enfocar todo el desarrollo posterior. Con el análisis preliminar se entregan las bases de
  - Criterios para establecer el alcance urbano del estudio
  - Análisis de combustibles
  - Determinación de tecnología según medio transportador de calor.
- Para el estudio se seleccionó un alcance de implementación que resultara de interés social (extensión e impacto poblacional significativo), económico y académico. El proyecto estudiado tendría impacto en 2.614 hogares (habitados por 10.414 personas), dos centros comerciales y el Hospital Clínico Regional:
  - Hospital Clínico de Magallanes Dr. Lautaro Navarro A.
  - Villa las Nieves.
  - Población Bahía Catalina.
  - Villa Torres del Paine.
  - Centro comercial Zona Austral, Zona Franca de Punta Arenas.
  - Villa Los Flamencos.
  - Condominio Altos del Bosque.
  - Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez.
  - Centro comercial Espacio Urbano Pionero.
- Adicionalmente, se constató el potencial de incorporación de hipotéticos suscriptores del servicio.

---

<sup>167</sup> De tabla 2.13. Los motores son particularmente eficientes en la generación de agua caliente producto de su proceso de refrigeración por chaqueta de agua o “*water jacket*”.

- Se desarrolló un proceso de agrupamiento (ó “clusterización”) por tipología de vivienda para los barrios seleccionados. Se establecieron las tipologías de vivienda Tipo, Mejorada y Energéticamente eficiente.
- Mediante un desarrollo metodológico explícito y expuesto de manera guiada se determinó la demanda térmica para el alcance de implementación (calefacción y ACS). La demanda se determinó a partir de simulaciones anuales de condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, aporte térmico por ocupantes y aporte térmico por aparatos domésticos. El cálculo es desarrollado en paralelo para las tres tipologías de vivienda.
- Se determinó la demanda bruta de energía para cada tipología de vivienda por concepto de calefacción y generación de ACS. La demanda bruta es corregida de acuerdo a los patrones de utilización de calefacción de los habitantes de Punta Arenas. Los resultados obtenidos fueron:

**Tabla 7.1: Demandas térmicas de viviendas**

<b>Tipología de vivienda</b>	<b>Demanda anual bruta de calor [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Demanda anual neta de calor [kWh/m<sup>2</sup>]</b>
Tipo	1.094	618
Mejorada	834	315
EE	424	172

(Fuente: Elaboración propia)

- Se estimó la demanda térmica de los lugares públicos considerados.
- A partir de la demanda térmica neta de los consumidores residenciales y públicos fue posible establecer la demanda térmica total del sistema. La demanda anual de calor para el rango de clientes establecido asciende a 91.398.148 [kWh]. Lo anterior equivale a 8.273.937 [m<sup>3</sup>/año].
- Se diseñó la red de distribución de calor a partir de las demandas térmicas calculadas y su distribución geográfica. Se establecieron las consideraciones preliminares al proceso de diseño en materia de
  - Proyección de crecimiento de suscriptores (y por consiguiente la demanda)
  - Factor de simultaneidad de uso del servicio
  - Configuración y tipo de red, inclinándose finalmente por
    - Red subterránea
    - Cañerías enterradas
    - Circuitos de transporte de calor indirectos
    - Sistema de agua caliente a baja temperatura
    - Operación por flujo de agua variable.
- Se seleccionaron los materiales a utilizar, se dimensionó la red y los espesores de aislación de cañerías óptimos.
  - Del dimensionamiento de los tramos de red se establecieron los caudales de agua comprometidos y las pérdidas de carga asociadas a su transporte.
  - De la selección de espesores de aislante se determinaron las pérdidas de calor en la red.

- Se seleccionaron los equipos requeridos para la operación de la red: válvulas y bombas.
  - Las válvulas requeridas son de compuerta y anti retorno.
  - Las bombas centrífugas y sus motores se seleccionan a partir de las condiciones de operación requeridas.
  - Adicionalmente se calculó el volumen requerido de la cámara de expansión del sistema.
- Se determinó la potencia requerida en la central generadora de calor. La potencia asciende a 32 [MW] a fin de poder suplir la demanda de calor en la situación de máxima demanda al mismo tiempo que se compensan las pérdidas de calor por transmisión. Se desarrolló la configuración requerida para cada uno de las opciones consideras:
  - Recuperación de gases de escape de la central termoeléctrica Tres Puentes: Se proyecta la implementación de calderas recuperadoras de agua caliente en las unidades 7 y 9 de la central. La cantidad de calor recuperable frente a las condiciones normales de operación asciende a 37 [MW].
  - Planta de cogeneración: Se proyecta replicar la configuración de la opción de recuperación de gases de escape de la central Tres Puentes mediante la incorporación de dos unidades turbogeneradoras que totalizan 17,4 [MW] de potencia.
  - Central de generación exclusiva de calor: Se proyecta la instalación de tres calderas de agua caliente con una potencia total de 37,8 [MW].
- Se diseñó la central de vivienda para cada una de las tres tipologías de viviendas residenciales. De igual forma, se seleccionaron los equipos que cada tipo de vivienda requiere para su incorporación al sistema.
  - Se seleccionó radiador, por sobre la loza radiante y los convectores, como el equipo calefactor doméstico de los suscriptores.
  - Se seleccionaron equipos comerciales para
    - Radiadores
    - AACS
    - Bombas
    - Válvulas
    - Cañerías
    - Tanque de expansión.
- Definida la totalidad de componentes requeridos para la implementación del sistema de calefacción distrital para cada una de las opciones se determinaron las inversiones. Las inversiones para cada escenario se ven en la tabla siguiente.

**Tabla 7.2: Inversiones requeridas para cada opción de generación de calor.**

Opción de generación de calor	Inversión [US\$]
Recuperación de gases de escape de central Tres Puentes	22.530.805
Central de cogeneración	33.242.609
Central generadora de calor por calderas	22.270.566

(Fuente: Elaboración propia)

- A fin de definir cuál de las tres opciones estudiadas permite abordar de mejor manera la implementación y operación de un sistema de calefacción distrital dado el mercado energético, *establishment* de Punta Arenas e institucionalidad del país, se desarrolló un análisis PEST y de Cinco Fuerzas de Porter.
- Se determinó, mediante las herramientas de análisis, que la mejor opción para la implementación de calefacción distrital en Punta Arenas es mediante la recuperación de los gases de escape de la central Tres Puentes.
- Se desarrolló el modelo de negocios que da cuenta de cómo el servicio de calefacción distrital a partir de recuperación de gases de escape es operado y genera valor para su operador y suscriptores. El diseño del modelo de negocios se abordó a partir de la metodología Canvas de Osterwalder, quedando entonces determinado el marco de acción en que se propone desarrollar el servicio.
- A partir del modelo de negocios se pudo determinar la estructura de ingresos y costos del proyecto.
- Del análisis de las inversiones se detectó la importancia del ítem ACS en la inversión por adaptación de los suscriptores (4.221.192 [US\$] por este concepto), contrastante con los escasos ingresos que aporta el ACS al proyecto. Es a partir del razonamiento anterior que se desarrolló la evaluación económica del proyecto en tres escenarios:
  - Escenario 1: Inversión y venta de calor para calefacción y generación de ACS.
  - Escenario 2: Inversión y venta de calor considerando exclusivamente calefacción.
  - Escenario 3: Inversión sólo para calefacción. Porcentaje de suscriptores instalan voluntariamente y bajo su costo AACCS. Venta de calor por concepto de calefacción y ACS.
- Los resultados de las evaluaciones económicas para los tres escenarios se observan en la tabla siguiente.

**Tabla 7.3: Resultados de evaluación económica por escenario**

Escenario de evaluación económica	VAN [US\$]	TIR
1	- 16.716.970	-4,15%
2	- 13.531.813	-4,06%
3	- 13.455.768	-3,97%

(Fuente: Elaboración propia)

- De la evaluación económica de los proyectos se desprende que dadas las condiciones actuales (mercado energético en la XII región, el alcance establecido y ausencia de políticas públicas que fomenten) el proyecto no debe ser realizado, al menos por un privado. De todas formas se constata que el escenario 3 es el de mejores resultados por lo que se estudia su evolución frente a un análisis de sensibilidad.
- El análisis de sensibilidad comprendió la variación independiente de las siguientes variables:
  - Volumen de venta de calor anual.
  - Precio del [kWht] de calor provisto por la red.

- Porcentaje de aporte de los suscriptores para su propia adaptación e incorporación a la red distrital.
- El análisis de sensibilidad muestra que el proyecto tiene alto potencial en un escenario que considere un alcance mayor (mayor demanda), una mayor disposición al pago (producto de cambios en la matriz energética de la XII región, disposición al pago o percepción de valor por parte de los clientes). De igual forma, considerar que los mismos suscriptores aportan un porcentaje de su instalación disminuye la inversión requerida, fomenta la retención de clientes y mejora el proyecto.
- Se formularon recomendaciones para un modelo de gobierno que dé cuenta de cómo regular y establecer responsabilidades y limitaciones en la operación de un servicio como este.
- Se expuso como ejemplos de organización y gobierno casos exitosos en Alemania (Jühnde) y Dinamarca (Copenhague). En el primer caso se mostró un sistema pequeño bajo el modelo de cooperativa entre proveedores y suscriptores, todo en un contexto de propiedad común de las instalaciones. En el segundo caso se mostró el accionar estatal para el desarrollo y fomento de la tecnología. En ambos casos el apoyo de organismos públicos resulto crucial para el éxito.
- Las recomendaciones para el modelo de gobierno permiten dar luces sobre mecanismos de acción frente a
  - La instalación y operación del sistema
  - La regulación de precios
  - El arbitrio entre operadores del servicio
  - El fomento de la tecnología.

## Bibliografía

PEIRANO Ocharán, Jaime Andrés. Diseño de una red geotérmica de distribución de calor para el municipio de Coñaripe, X región. Memoria (Ingeniería Civil Mecánica). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2009. 203 h.

FILIPPONI Rossi, Alejandro. Investigación sobre una posible utilización del calor disipado por los motores Diesel para calefaccionar la base antártica “Gabriel González Videla”. Memoria (Ingeniería Civil Industrial). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1965. 145 h.

GERALDO Uribe, Enrique. Estudio de factibilidad económica de una central de calefacción urbana en Santiago. Memoria (Ingeniería Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1968.169 h.

GAMMA INGENIEROS. Estudio para la Factibilidad y Diseño de un Plan de implementación de Recambio de Calefactores en la Región de Magallanes. Santiago, Chile. Ministerio de Energía, Febrero, 2012. 141 h.

GAMMA INGENIEROS. Guía para el ahorro de combustibles y cumplimiento de normas ambientales, Santiago, Chile. Copec S.A. Agosto, 2009. 136 h.

GAMMA INGENIEROS. Evaluación del desempeño operacional y comercial de centrales de cogeneración y estudio del potencial de cogeneración en Chile. Santiago, Chile. Comisión Nacional de Energía. Noviembre, 2004. 136 h.

POCH AMBIENTAL S.A. Evaluación de alternativas de calefacción distrital para las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Santiago, Chile. Gobierno Regional de la Araucanía. Julio, 2010.

ASHRAE. ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition).E.E.U.U., 2008.

BINE INFORMATIONSDIENST. Projektinfo 01/07 “Converting steam-based district heating systems to hot water”. Bonn, Alemania. 2007.

GRIFFERO González, Camila. Usos del calor residual de la central geotérmica San Gregorio. [en línea]<<http://www.slideshare.net/CamilaGriffero/usos-del-calor-residual-de-la-central-geotermica-san-gregorio-lineamientos-generales-para-un-proyecto-de-calefaccin-distrital-en-la-ciudad-de-temuco>> [consulta 9 marzo 2012]

FORETICH O., Ricardo. Análisis del comportamiento en el consumo de gas natural domiciliario según nivel de vulnerabilidad de las familias de Punta Arenas. Punta Arenas, Chile. Serplac Magallanes, 2011. 27 h.

PEDRALS, Juan. *Energía 1979-1990*, Fundación BHC para el Desarrollo, Santiago, 1990, 91.

MARTINIC, M.. La minería del carbón en Magallanes entre 1868 – 2003. [en línea] Scielo Chile. Junio, 2004. <[http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71942004000100005&script=sci\\_arttext#1](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71942004000100005&script=sci_arttext#1)> [consulta 30 marzo 2012]

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. Anuario Meteorológico de 2010. [en línea] 2011. <<http://164.77.222.61/climatologia/anuarios/Anuario-2010.pdf>> [consulta 12 abril 2012]

BUSTAMANTE, W. et al. Eficiencia Energética en vivienda social: Un desafío posible. [en línea] Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 2009. Capítulo IX. <<http://vinculosconlasociedad.uc.cl/documentos/12615031554666.pdf>> [consulta: 12 abril 2012]

ROMERO Ramos, Nathaly P.. Consumo de energía a nivel residencial en Chile y Análisis de eficiencia energética en calefacción. Memoria (Ingeniería Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Marzo, 2011.

CONSTENLA Kasat, Valentina. Diseño de un plan de negocios para una empresa proveedora de energía eléctrica solar fotovoltaica. Memoria (Ingeniería Civil Industrial). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Mayo, 2012.

GAMMA INGENIEROS. Diagnóstico energético del Sector Retail. Santiago, Chile. Comisión Nacional de Energía, Diciembre, 2009. 81 h.

CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, Cámara Chilena de la Construcción. Informe Final y Resumen Ejecutivo, Estudio de usos finales y curva de la oferta de conservación de la energía en el sector residencial. Santiago de Chile. 15 de Septiembre de 2010.

GOBIERNO DE CHILE. Estrategia Nacional de Energía 2012-2030. Santiago de Chile. Febrero de 2012.

MINISTERIO DE ENERGÍA, DIVISIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. Guía para el ahorro de gas en la región de Magallanes. Punta Arenas, Chile. 2012.

Nacion.cl. Magallanes – Gas: Gobierno y asamblea firmaron acuerdo para deponer paro. [en línea] La Nación en internet. 18 de enero, 2011. <<http://www.lanacion.cl/magallanes-gas-gobierno-y-asamblea-firmaron-acuerdo-para-deponer-paro/noticias/2011-01-18/170313.html>> [consulta: 26 de marzo 2012]

Radio BíoBío. Rainieri respalda alza de gas y cataloga subsidio en Magallanes como “una fiesta” que debe terminar. [en línea] Radio BíoBío en Internet. 05 de enero, 2011. <<http://www.biobiochile.cl/2011/01/05/rainieri-respalda-alza-de-gas-y-cataloga-subsidio-en-magallanes-como-una-fiesta-que-debe-terminar.shtml>> [consulta: 26 de marzo 2012]

Diario electrónico Radio Polar. 12 de enero de 2011, protesta y muerte en Punta Arenas. [en línea] Radio Polar en Internet. 14 de enero, 2011. <[http://www.radiopolar.com/noticia\\_42607.html](http://www.radiopolar.com/noticia_42607.html)> [consulta: 26 de marzo de 2012]

Grupo El Mostrador. Gobierno no cede y enfrenta paro indefinido en Magallanes por alza del gas. [en línea] El Mostrador en Internet. 11 de enero, 2011. <<http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2011/01/11/el-gobierno-no-cede-y-enfrenta-paro-indefinido-en-magallanes-por-alza-del-gas/>> [consulta: 26 marzo 2012]

Enap. Enap y Gasco renovaron contrato. [en línea] Página web de Enap. 31 de enero, 2011. <<http://www.ena.cl/admin/archivos/informeMercado/ENAP%20y%20GASCO%20RENOVARON%20CONTRATO.pdf>> [consulta: 26 marzo 2012]

El Dínamo. Gobierno propone mantener el precio del gas en Magallanes hasta 2016. [en línea] El Dínamo en Internet. 20 de septiembre, 2011. <<http://www.eldinamo.cl/2011/09/20/gobierno-mantiene-precio-del-gas-en-magallanes-hasta-2016/>> [consulta: 26 marzo 2012]

ASTUDILLO, A.. Paul Schiodtz Gerente general de Methanex Chile: “No vemos ninguna razón para modificar el contrato de precios con Enap”. [en línea] La Tercera en Internet. 19 de enero, 2011. <<http://diario.latercera.com/2011/01/19/01/contenido/negocios/10-56559-9-no-vemos-ninguna-razon-para-modificar--el-contrato-de-precios-con-ena.html>> [consulta: 26 marzo 2012].

Las Noticias de El Tabo. Magallanes. Contratos de Enap con Methanex son confidenciales, reconoció gerente general de la empresa canadiense. [en línea] Las noticias de El Tabo en Internet. <[http://www.lasnoticiasdeeltabo.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=441:magallanes-contratos-de-ena-con-methanex-son-confidenciales-reconocio-gerente-general-de-la-empresa-canadiense&catid=18:politica&Itemid=29](http://www.lasnoticiasdeeltabo.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=441:magallanes-contratos-de-ena-con-methanex-son-confidenciales-reconocio-gerente-general-de-la-empresa-canadiense&catid=18:politica&Itemid=29)> [consulta: 26 marzo 2012]

Methanex. Una propuesta público-privada: Diversificación energética de Magallanes”. Seminario “Futuro Energético de Magallanes”, organizado por Enap, Methanex y el Gobierno Regional. [en línea] Página web de Methanex. <<http://www.methanex.cl/comunidad/DiversificacionEnergetica.pdf>>

Territorio Verde. Evaluación económica de alternativas de calefacción, año 2009. [en línea] <<http://www.territorioverde.cl/energia/calefaccion.pdf>> [consulta: 06 abril 2012]

Weather Channel. Horas de Salida del Sol en Punta Arenas. [en línea] <<http://espanol.weather.com/climate/sunRiseSunSet-Punta-Arenas-CIXX0017>> [consulta: 12 abril 2012]

CHAPMAN Mike. The Hoathly Hill Community wood fired district heating system, Information note Official opening 28<sup>th</sup> September 2007. East Sussex, Inglaterra. High Weald AONB Unit. 28 de septiembre de 2007.

GELDERMANN Jutta, FRIEDRICH Jan. Bioenergy villages in Germany. Göttingen, Alemania. Georg-August-University Göttingen, Chair of production and logistics. 01 de noviembre de 2011.

ELSMAN Peter. Application for the 'Global District Energy Climate Award', Copenhagen District Heating System operated by Copenhagen Energy Ltd. Copenhagen, Dinamarca. 2009.

SLEIMAN, A.H.. et al. Guidelines for converting building heating systems for hot water district heating. NOVEM, Sittard, Holanda. 1990.

WERNER, S.E. The heat load in district heating systems. Chalmers University of Technology. Göteborg, Suecia. 1984.

OELKER Behn, Arnulfo. Artículo técnico: Calderas y sistemas de agua caliente. Santiago, Chile. Thermal Engineering Ltda.

OELKER Behn, Arnulfo. Artículo técnico: Tratamiento de agua para calderas. Santiago, Chile. Thermal Engineering Ltda.

OSTERWALDER Alexander, PIGNEUR Yves. Business Model Generation. 1ª ed. Nueva York, John Wiley & Sons Inc., 2010. 288 p.

PÉREZ Bravo, María José. Análisis de la dimensión simbólica de las políticas públicas: algunas claves para comprender los problemas de implementación. Santiago, Chile. Centro de sistemas públicos, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. 22 de abril de 2010.

RAMIÓ MATAS Carles. Externalización de servicios públicos y corrientes neo empresariales: los problemas de la administración relacional en el contexto de un gobierno multinivel. Barcelona, España. Universidad Pompeu Fabra. 27 de octubre de 2000.

DEPARTAMENTO SECRETARÍA GENERAL, SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES. Planificación estratégica, 2006 – 2010. [en línea] <<http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SEC2005/ARCHIVOS/TAB3103441/PLAN%20ESTRATEGICO%20JUNIO%202006.PPT>> [consulta: 11 julio 2012]

MINISTERIO DE MINERÍA, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Fija reglamento de la ley general de servicios eléctricos. Decreto Supremo N° 327. Santiago de Chile. 10 de Septiembre de 1998.

MINISTERIO DEL INTERIOR. Ley de Servicios de gas. Decreto con Fuerza de Ley N° 323 de 1931. Última versión de 01-02-2010. Santiago de Chile. 01 de febrero de 2010.

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN, SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN. Fija texto refundido, coordinado y sistematizado del decreto con fuerza de ley N° 1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en materia de energía eléctrica. Santiago de Chile. 12 de mayo de 2006.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Aprueba Reglamento de servicio de gas de red. Santiago, 25.02.04. N° 67. Santiago de Chile, 25 febrero de 2004.

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Constitución política de la República de Chile. Santiago de Chile. 06 de marzo de 2012.

FELLER-RATE, Clasificadora de riesgo. Cambio de clasificación Empresa Eléctrica de Magallanes, Noviembre de 2010.

RECAL S.A. Catálogo en línea. [en línea] <<http://www.recal.cl/descargas.html>> [consulta: abril de 2012]

FIBRA S.A. Catálogo en línea. [en línea] <<http://www.fibra.cl/images/brochure/main.swf>> [consulta: mayo de 2012]

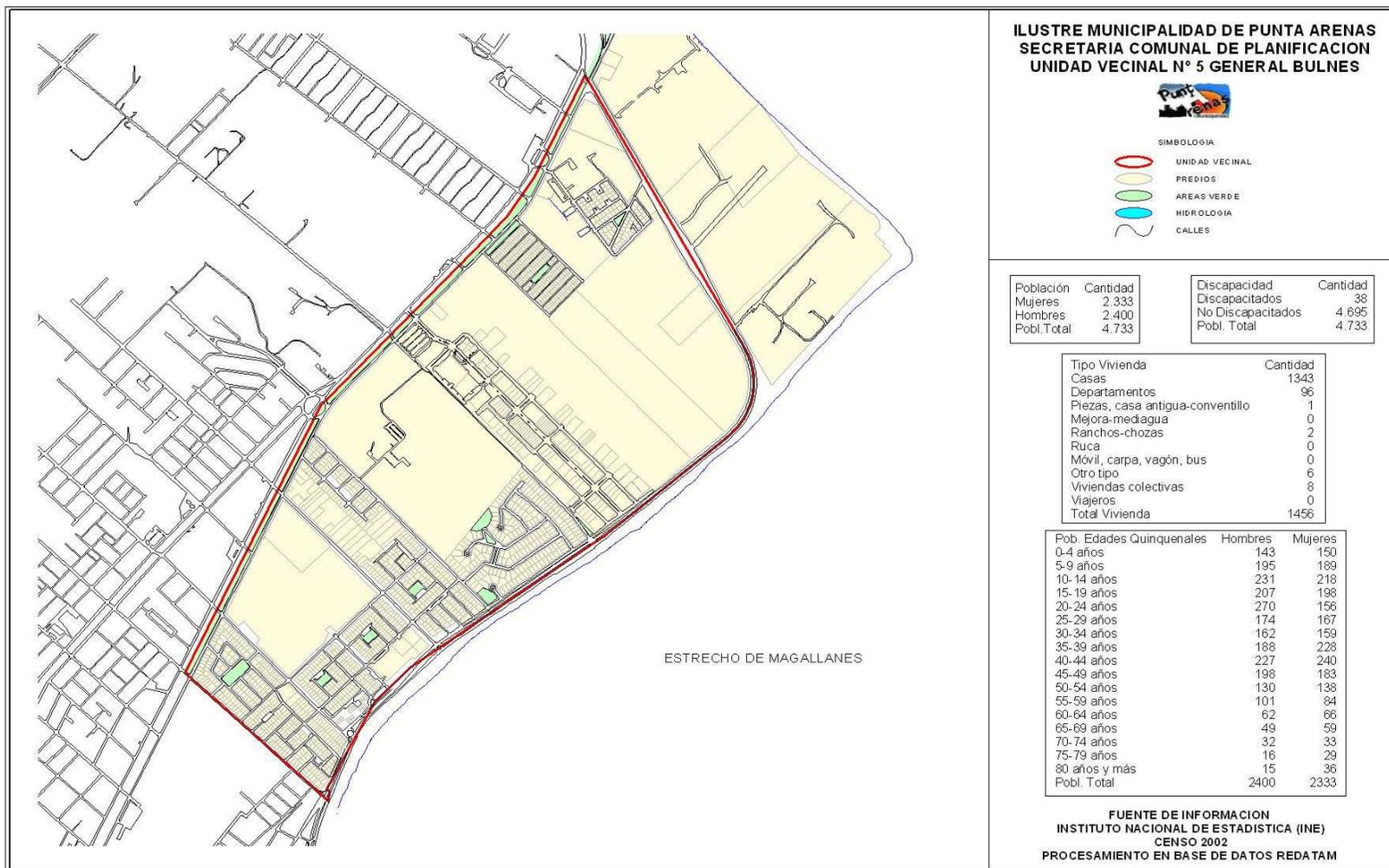
VOGT S.A. Información técnica [disco compacto, CD-ROM]. Santiago. 2012.

LA CLASE EJECUTIVA. Curso: Evaluación de proyectos. Santiago, Chile. 21 de Junio, 2009.

ASOCIACIÓN DANESA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL. Descripción del organismo. [en línea] <<http://www.fjernvarmen.dk/In%20English.aspx>> [consulta: agosto de 2012].

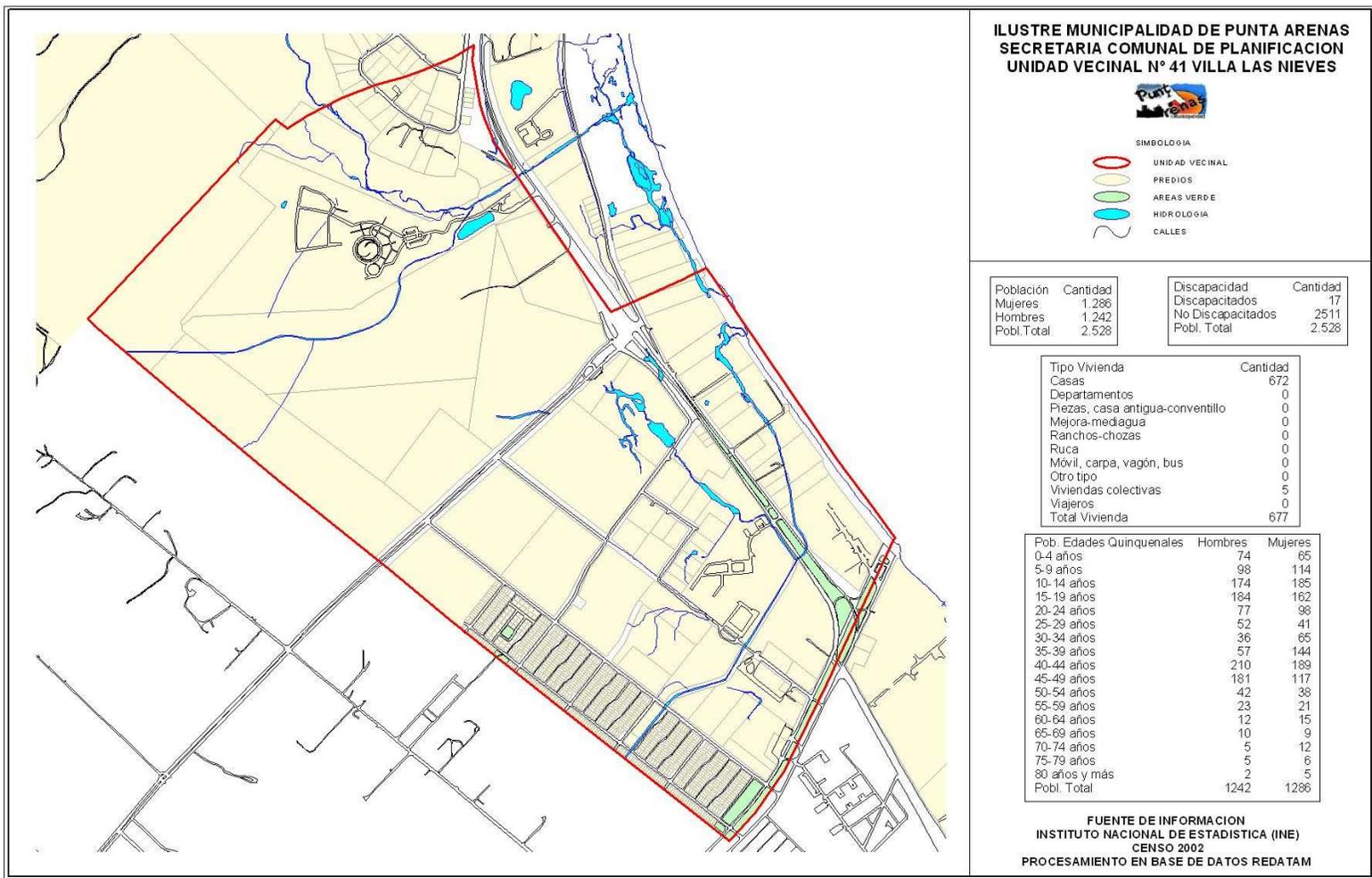
CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN, CÁMARA CHILENA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN. Manual de instalaciones térmicas, Comité de especialidades. [en línea] < <http://www.cchc.cl/wp-content/uploads/2011/03/Manual-de-Instalaciones-T%C3%A9rmicas.pdf>> [consulta: agosto de 2012].

## **Anexo A: Unidades Vecinales del Estudio**



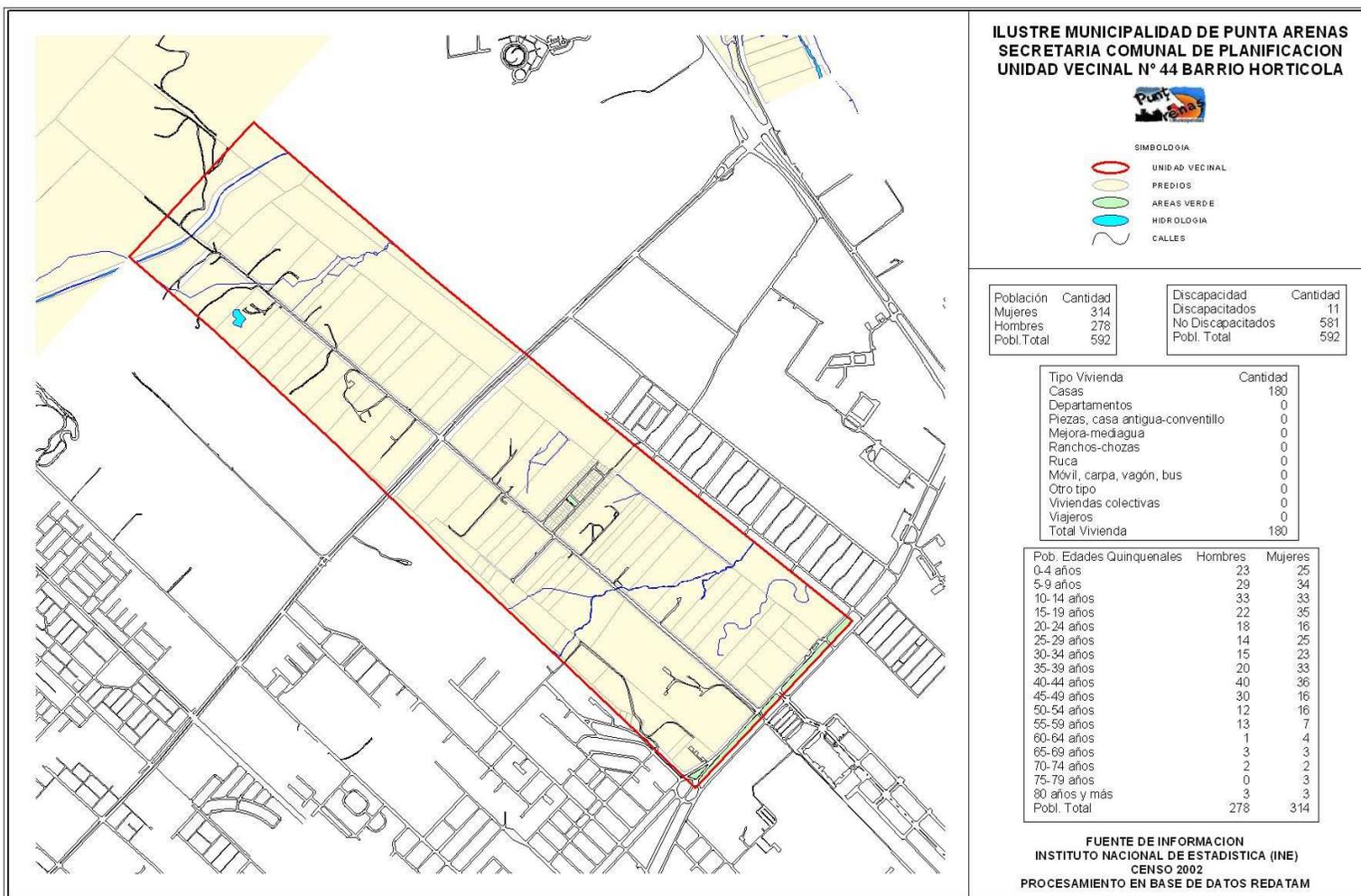
**Imagen A.1: Unidad Vecinal N° 5, General Bulnes.**

(Fuente: Página web Municipalidad de Punta Arenas, [www.puntaarenas.cl](http://www.puntaarenas.cl))



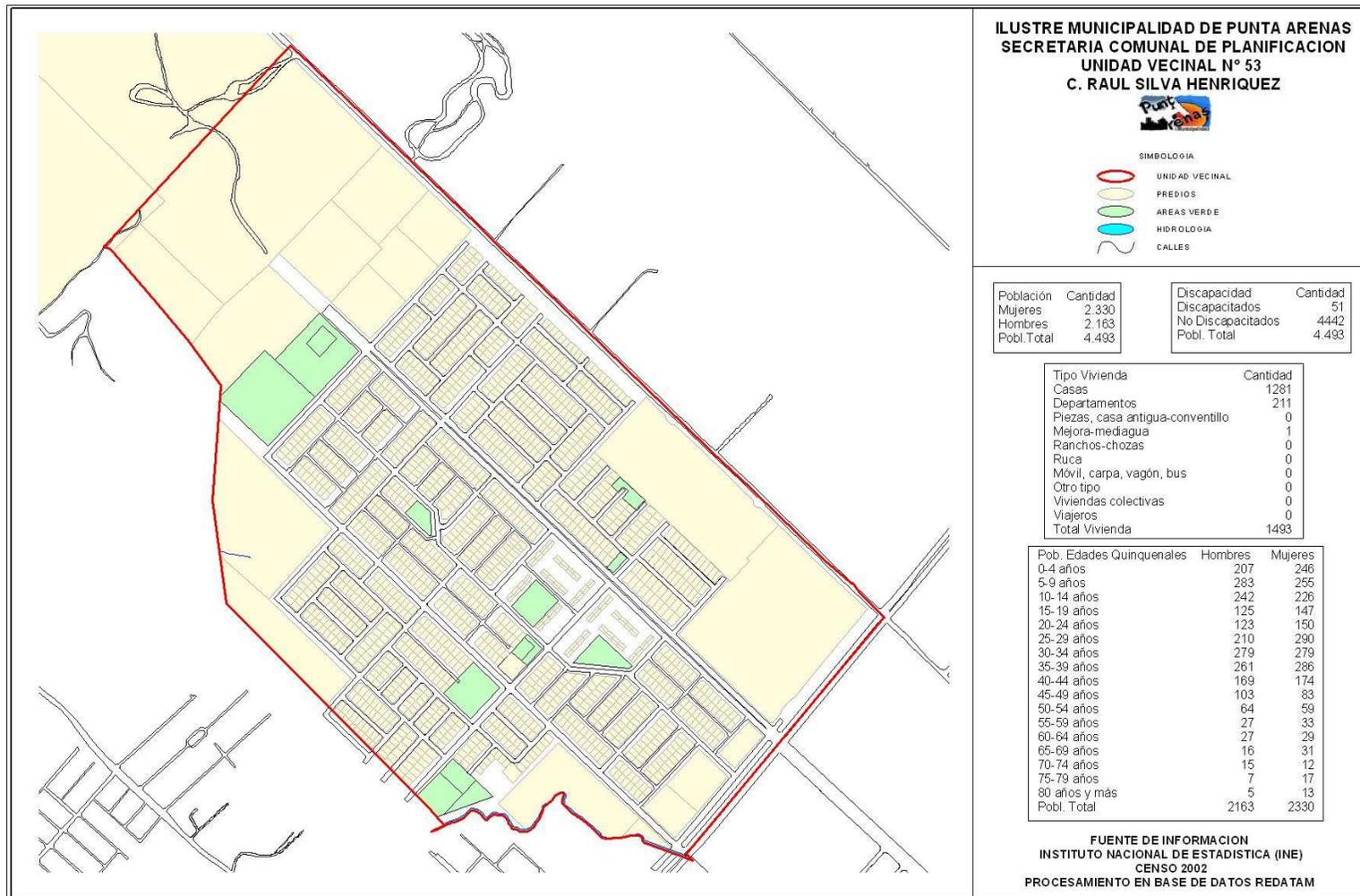
**Imagen A.2: Unidad Vecinal N° 41, Villa las Nieves.**

(Fuente: Página web Municipalidad de Punta Arenas, [www.puntaarenas.cl](http://www.puntaarenas.cl))



**Imagen A.3: Unidad Vecinal N° 44, Barrio Hortícola.**

(Fuente: Página web Municipalidad de Punta Arenas, [www.puntaarenas.cl](http://www.puntaarenas.cl))



**Imagen A.4: Unidad Vecinal N° 53, C. Raúl Silva Henríquez.**

(Fuente: Página web Municipalidad de Punta Arenas, [www.puntaarenas.cl](http://www.puntaarenas.cl))

## **Anexo B: Detalles demográficos de Barrios en Estudio**

**Tabla B.1: Información demográfica, Villa las Nieves**

Nombre Sector	Cuadra	Nº de Hogares	% de Hogares en Quintil Superior	Cantidad de Hombres	Cantidad de Mujeres	Población Total
Villa Las Nieves	VLN1 *	18	50,73	63	59	122
	VLN2	36	66,67	60	83	143
	VLN3	40	45	91	86	177
	VLN4	38	68,42	81	74	155
	VLN5	33	66,67	69	62	131
	VLN6	38	63,16	64	70	134
	VLN7	37	59,46	79	71	150
	VLN8	36	44,44	56	66	122
	VLN9	43	67,44	83	86	169
	VLN10	35	77,14	72	60	132
	VLN11	37	62,16	61	77	138
	VLN12	0		0	0	0
	VLN13	32	65,63	55	73	128
	VLN14	37	54,05	66	75	141
	VLN15	40	60	75	77	152
	VLN16	38	57,9	701	60	761
	VLN17	39	48,72	69	84	153
	VLN18	38	44,74	75	77	152
	VLN19	39	48,72	62	87	149
	VLN20 *	20	64,84	30	33	63
	VLN21 *	20	64,84	30	33	63
	VLN22 *	20	64,84	30	33	63
	VLN23 *	20	64,84	30	33	63
	VLN24 *	20	64,84	30	33	63
	VLN25				1	1
<b>Total</b>		<b>754</b>	<b>-</b>	<b>2033</b>	<b>1493</b>	<b>3526</b>
<b>Promedio</b>		<b>31,4</b>	<b>59,8</b>	<b>81,3</b>	<b>59,7</b>	<b>141,0</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)

\*: N° de hogares a partir de Minvu 2007, estimados y distribuidos en función de imagen satelital.



**Figura B.1: Villa las Nieves**

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)



**Figura B.2: Villa las Nieves**

**Tabla B.2: Información demográfica, Villa los Flamencos y Condominio Altos del Bosque.**

Nombre Sector	Cuadra	Nº de Hogares	% de Hogares en Quintil Superior	Cantidad de Hombres	Cantidad de Mujeres	Población Total
Villa los Flamencos	VF1 *	7	50,73	60	59	119
	VF2	18	88,89	27	34	61
	VF3	19	78,95	28	29	57
	VF4 *	4	50,73	3	3	6
	VF5	42	64,84	74	84	158
Condominio Altos del Bosque	AB1 *	19	100	38	38	76
	AB2 *	19	100	38	38	76
	AB3 *	15	100	30	30	60
	AB4 *	12	100	24	24	48
	AB5 *	16	100	32	32	64
<b>Total</b>		<b>171</b>	<b>-</b>	<b>354</b>	<b>371</b>	<b>725</b>
<b>Promedio</b>		<b>17,1</b>	<b>83,4</b>	<b>35,4</b>	<b>37,1</b>	<b>72,5</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)

\*: N° de hogares a partir de Minvu 2007, estimados y distribuidos en función de imagen satelital.



**Figura B.3: Villa los Flamencos, Condominio Altos del Bosque.**

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)



**Figura B.4: Condominio Altos del Bosque y Villa los Flamencos.**

**Tabla B.3: Información demográfica, Villa Torres del Paine y Población Bahía Catalina.**

Nombre Sector	Cuadra	Nº de Hogares	% de Hogares en Quintil Superior	Cantidad de Hombres	Cantidad de Mujeres	Población Total
Villa Torres del Paine	VTP1	0	0,0	0	0	0
	VTP2	34	79,4	56	61	117
	VTP3	35	71,4	55	55	110
	VTP4	32	75,0	54	52	106
	VTP5	36	77,8	68	55	123
	VTP6	4	75,0	9	6	15
	VTP7	0	0,0	0	0	0
	VTP8	4	50,0	5	6	11
	VTP9	15	80,0	26	29	55
	VTP10	31	83,9	47	49	96
	VTP11	33	63,6	53	55	108
Población Bahía Catalina	PBC1	32	96,9	65	68	133
	PBC2	18	83,3	43	39	82
	PBC3	9	88,9	15	17	32
	PBC4	0	0,0	0	0	0
	PBC5	22	90,9	52	45	97
	PBC6	10	90,0	20	19	39
<b>Total</b>		<b>315</b>	-	<b>568</b>	<b>556</b>	<b>1124</b>
<b>Promedio</b>		<b>18,5</b>	<b>65,1</b>	<b>33,4</b>	<b>32,7</b>	<b>66,1</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)



**Figura B.5: Villa Torres del Paine, Población Bahía Catalina**

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)



**Figura B.6: Villa Torres del Paine, Población Bahía Catalina**

**Tabla B.4: Información demográfica, Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez.**

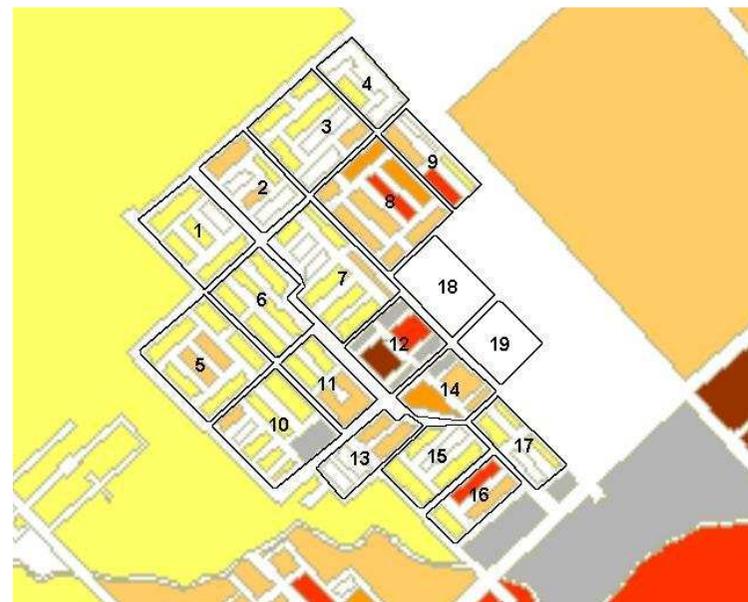
Nombre Sector	Bloque	Nº de Hogares (2)	% de Hogares en Quintil Superior (1)	Cantidad de Hombres (2)	Cantidad de Mujeres (2)	Población Total (2)
Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez	VCRSH1	63	11,8	134	126	260
	VCRSH2	44	24,6	114	104	218
	VCRSH3	80	19,5	175	188	363
	VCRSH4	15	13,3	59	67	126
	VCRSH5	109	14,6	172	188	360
	VCRSH6	82	13,8	119	137	256
	VCRSH7	117	16,1	213	247	460
	VCRSH8	142	43,7	193	223	416
	VCRSH9	46	41,0	84	102	186
	VCRSH10	95	17,2	159	186	345
	VCRSH11	39	18,3	66	63	129
	VCRSH12	120	78,8	142	157	299
	VCRSH13	19	34,3	91	81	172
	VCRSH14	115	41,4	172	147	319
	VCRSH15	47	11,5	97	88	185
	VCRSH16	52	32,9	79	91	170
	VCRSH17	47	9,1	94	113	207
	VCRSH18 *	86	100,0	172	172	344
	VCRSH19 *	56	100,0	112	112	224
<b>Total</b>		<b>1.374</b>	-	<b>2.447</b>	<b>2.592</b>	<b>5.039</b>
<b>Promedio</b>		<b>72,3</b>	<b>33,8</b>	<b>128,8</b>	<b>136,4</b>	<b>265,2</b>

(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu 2007)

(1) Promedio de las cuadras del bloque.

(2) Sumatoria de las cuadras del bloque.

\* : Estimado en base a imagen satelital. Se asume un promedio de cuatro habitantes por hogar, mitad hombre y mitad mujeres.



**Figura B.7: Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez**  
(Fuente: Elaboración propia en base a Minvu, 2007)



**Figura B.8: Villa Cardenal Raúl Silva Henríquez.**

## **Anexo C: Demandas brutas térmicas de viviendas**

**Tabla C.1: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda TIPO.**

Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda TIPO																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	8,16	8,25	8,34	12,49	12,47	8,26	7,63	7,27	6,83	6,43	6,19	6,01	5,53	5,48	5,82	6,22	6,64	6,88	7,06	7,38	7,48	7,69	7,78	8,06	180,34
2	8,50	8,59	8,69	12,84	12,84	9,07	8,38	7,65	7,16	6,72	6,36	6,21	5,76	5,75	6,15	6,59	7,01	7,25	7,47	7,70	7,80	8,01	8,11	8,40	189,02
3	8,63	8,72	8,81	13,00	13,09	9,21	8,48	7,84	7,29	6,79	6,38	6,19	5,71	5,69	6,14	6,64	7,11	7,44	7,70	7,85	7,95	8,16	8,25	8,53	191,61
4	9,12	9,20	9,28	13,60	13,68	9,95	9,48	8,63	8,03	7,48	6,91	6,60	6,45	6,16	6,64	7,17	7,60	7,84	7,98	8,12	8,61	8,69	8,77	9,04	205,04
5	9,39	9,41	9,43	13,93	13,95	9,50	9,26	9,39	9,31	8,75	8,29	8,08	7,60	7,60	8,05	8,47	8,67	8,77	8,88	8,98	9,00	9,14	9,16	9,37	222,38
6	10,33	10,34	10,35	15,09	15,10	10,38	10,12	10,34	10,64	10,11	9,65	9,43	8,96	8,83	9,25	9,56	9,66	9,77	9,87	9,98	9,99	10,11	10,12	10,31	248,30
7	10,42	10,44	10,46	15,42	15,44	10,52	10,35	10,37	10,50	9,93	9,32	9,00	8,84	8,47	8,91	9,31	9,41	9,52	9,63	9,74	10,16	10,18	10,19	10,40	246,91
8	10,14	10,20	10,26	15,31	15,37	10,86	10,43	9,88	9,37	8,88	8,52	8,38	7,98	8,06	8,49	8,95	9,28	9,37	9,46	9,55	9,61	9,78	9,83	10,08	238,04
9	9,59	9,67	9,75	14,73	14,81	10,21	9,61	8,89	8,34	7,85	7,32	7,06	6,93	6,68	7,11	7,58	8,02	8,36	8,48	8,60	9,08	9,16	9,24	9,51	216,61
10	8,99	9,07	9,15	13,94	14,02	9,46	8,74	8,04	7,53	7,07	6,70	6,54	6,08	6,07	6,52	7,01	7,47	7,78	8,11	8,28	8,36	8,55	8,64	8,90	201,02
11	8,63	8,75	8,87	13,48	13,49	8,82	8,10	7,79	7,31	6,84	6,45	6,24	5,72	5,65	6,01	6,44	6,89	7,18	7,38	7,61	7,84	8,08	8,20	8,51	190,25
12	8,63	8,74	8,86	13,15	13,19	8,56	7,93	7,52	7,07	6,67	6,21	6,00	5,89	5,63	6,00	6,42	6,77	6,94	7,12	7,34	7,96	8,08	8,20	8,51	187,42

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C.2: Consumos mensuales vivienda TIPO.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	180,34	5591
2	28	189,02	5292
3	31	191,61	5940
4	30	205,04	6151
5	31	222,38	6894
6	30	248,30	7449
7	31	246,91	7654
8	31	238,04	7379
9	30	216,61	6498
10	31	201,02	6232
11	30	190,25	5708
12	31	187,42	5810
Total [kWh/año]			76598
Area vivienda "TIPO" [m2]			70
Consumo [kWh/m2]			1094

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C.3: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda MEJORADA.**

Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda MEJORADA																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	8,41	8,48	8,56	12,59	12,34	8,05	7,43	6,72	5,82	5,04	4,67	4,34	3,88	4,06	4,72	5,56	6,45	6,87	7,10	7,75	7,82	8,01	8,08	8,34	112,36
2	8,69	8,76	8,84	12,96	12,77	8,75	7,95	6,88	5,91	5,06	4,44	4,23	3,92	4,24	5,06	6,01	6,89	7,29	7,65	8,00	8,08	8,27	8,35	8,61	177,60
3	8,80	8,88	8,95	13,11	13,18	9,04	8,08	7,05	5,97	5,03	4,35	4,09	3,77	4,11	5,02	6,07	7,02	7,63	8,03	8,15	8,22	8,40	8,48	8,73	180,16
4	9,20	9,26	9,32	13,61	13,67	9,81	9,25	8,06	6,88	5,84	4,95	4,58	4,60	4,73	5,72	6,85	7,74	8,09	8,20	8,30	8,77	8,83	8,89	9,14	194,27
5	9,41	9,43	9,45	13,94	13,96	9,49	9,25	9,21	8,55	7,47	6,68	6,39	6,10	6,55	7,55	8,46	8,80	8,88	8,96	9,03	9,05	9,18	9,19	9,40	214,37
6	10,13	10,13	10,14	14,88	14,89	10,16	9,91	10,12	9,93	8,95	8,16	7,87	7,59	7,96	8,86	9,49	9,57	9,64	9,72	9,79	9,80	9,92	9,92	10,12	237,65
7	10,19	10,20	10,22	15,17	15,19	10,26	10,09	10,10	9,64	8,58	7,64	7,25	7,30	7,42	8,38	9,22	9,30	9,38	9,46	9,53	9,95	9,96	9,98	10,18	234,60
8	9,95	10,00	10,04	15,08	15,12	10,47	10,09	9,28	8,17	7,16	6,46	6,24	6,00	6,49	7,46	8,53	9,25	9,31	9,38	9,44	9,48	9,64	9,68	9,91	222,63
9	9,54	9,60	9,66	14,61	14,67	9,99	9,07	7,92	6,82	5,87	5,05	4,72	4,76	4,89	5,80	6,85	7,79	8,47	8,56	8,65	9,11	9,17	9,23	9,48	200,30
10	9,05	9,11	9,17	13,94	14,00	9,07	8,19	7,15	6,14	5,26	4,63	4,40	4,09	4,43	5,30	6,30	7,23	7,74	8,32	8,44	8,50	8,68	8,74	8,99	186,85
11	8,75	8,84	8,93	13,51	13,31	8,51	7,81	7,33	6,39	5,49	4,78	4,42	3,94	4,10	4,79	5,66	6,58	7,10	7,35	7,69	8,08	8,28	8,38	8,66	178,66
12	8,74	8,83	8,92	13,01	12,87	8,23	7,64	6,90	6,02	5,25	4,56	4,28	4,30	4,34	5,09	5,97	6,65	6,86	7,10	7,42	8,19	8,29	8,38	8,65	176,49

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C.4: Consumos mensuales vivienda MEJORADA.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	112,36	3483
2	28	177,60	4973
3	31	180,16	5585
4	30	194,27	5828
5	31	214,37	6645
6	30	237,65	7129
7	31	234,60	7273
8	31	222,63	6902
9	30	200,30	6009
10	31	186,85	5792
11	30	178,66	5360
12	31	176,49	5471
Total [kWh/año]			70450
Area vivienda "MEJORADA" [m2]			85
Consumo [kWh/m2]			834

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla C.5: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda EE.**

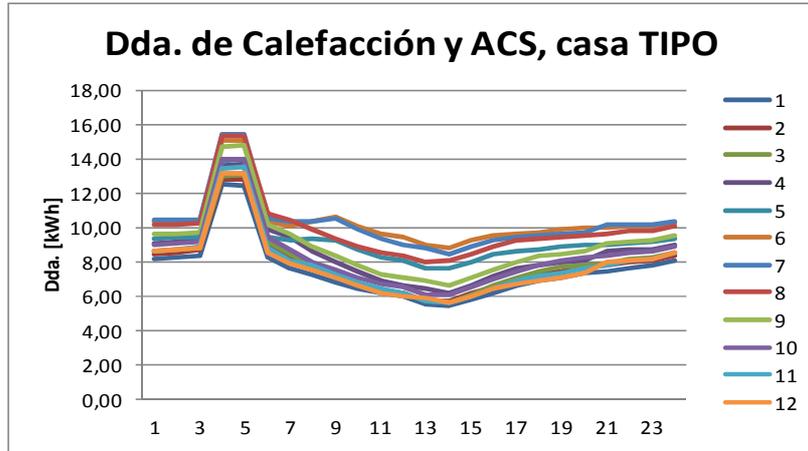
Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda EE																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	4,74	4,82	4,89	8,88	8,55	4,21	3,55	2,63	1,50	0,52	0,07	0,00	0,00	0,00	0,26	1,32	2,44	2,97	3,24	4,05	4,13	4,32	4,40	4,66	40,03
2	5,03	5,11	5,19	9,32	9,06	4,98	4,08	2,76	1,53	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65	1,84	2,96	3,45	3,89	4,32	4,41	4,60	4,68	4,95	83,29
3	5,16	5,24	5,31	9,48	9,55	5,35	4,24	2,94	1,59	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	1,91	3,11	3,87	4,35	4,48	4,56	4,75	4,82	5,09	86,78
4	5,58	5,65	5,71	10,01	10,07	6,23	5,59	4,15	2,67	1,37	0,31	0,00	0,00	0,21	1,46	2,89	4,02	4,44	4,55	4,67	5,14	5,20	5,27	5,52	100,71
5	5,81	5,83	5,85	10,34	10,36	5,90	5,65	5,54	4,65	3,29	2,32	1,95	1,72	2,34	3,61	4,76	5,18	5,27	5,35	5,43	5,45	5,57	5,59	5,79	123,55
6	6,57	6,58	6,59	11,33	11,34	6,61	6,35	6,57	6,24	5,01	4,03	3,67	3,45	3,98	5,13	5,92	6,00	6,08	6,15	6,23	6,24	6,36	6,37	6,56	149,33
7	6,64	6,65	6,67	11,62	11,64	6,71	6,54	6,55	5,89	4,57	3,44	2,98	3,08	3,36	4,58	5,65	5,73	5,81	5,89	5,98	6,39	6,41	6,42	6,62	145,80
8	6,38	6,43	6,47	11,52	11,56	6,93	6,54	5,52	4,12	2,84	1,96	1,68	1,50	2,15	3,39	4,74	5,65	5,72	5,79	5,86	5,90	6,06	6,10	6,34	131,15
9	5,94	6,00	6,07	11,02	11,09	6,42	5,32	3,91	2,53	1,33	0,35	0,00	0,05	0,32	1,47	2,80	3,99	4,85	4,94	5,03	5,50	5,56	5,63	5,88	105,99
10	5,42	5,48	5,55	10,32	10,38	5,34	4,33	3,03	1,76	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	2,14	3,31	3,94	4,66	4,79	4,86	5,03	5,10	5,35	92,33
11	5,09	5,19	5,29	9,87	9,59	4,73	3,96	3,35	2,16	1,04	0,15	0,00	0,00	0,00	0,31	1,40	2,56	3,21	3,51	3,92	4,40	4,61	4,71	5,00	84,05
12	5,09	5,18	5,28	9,29	9,09	4,39	3,76	2,85	1,73	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	1,87	2,73	2,97	3,26	3,65	4,52	4,61	4,71	4,99	81,51

(Fuente: Elaboración propia)

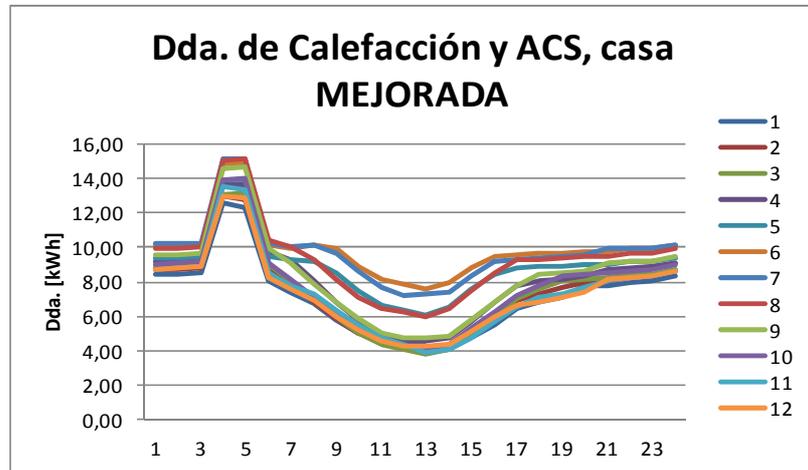
**Tabla C.6: Consumos mensuales vivienda EE.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	40,03	1241
2	28	83,29	2332
3	31	86,78	2690
4	30	100,71	3021
5	31	123,55	3830
6	30	149,33	4480
7	31	145,80	4520
8	31	131,15	4066
9	30	105,99	3180
10	31	92,33	2862
11	30	84,05	2522
12	31	81,51	2527
Total [kWh/año]			37271
Area vivienda "EE" [m2]			88
Consumo [kWh/m2]			424

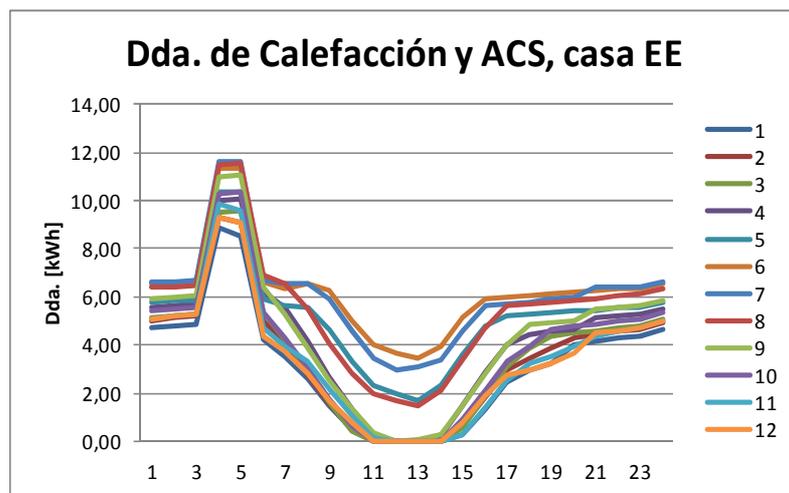
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura C.1: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda TIPO.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura C.2: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda MEJORADA.**  
(Fuente: Elaboración propia)



**Figura C.3: Demanda horaria de calefacción y ACS en vivienda EE.**  
(Fuente: Elaboración propia)

Se debe notar que tanto en la figura C.1, C.2 y C.3 las mayores cargas observadas entre las 4:00 y las 5:00 hrs. son debidas a que son el momento del día en que se genera el grueso del agua caliente sanitaria.

Resulta destacable, de la figura C.3, el hecho de que la casa del tipo EE llega a prescindir de calefacción en los horarios de 11:00 a 14:00 hrs. durante los meses de invierno, situación explicable por su materialidad superior.

Se debe observar también que durante las horas del día la vivienda Tipo presenta una demanda térmica mas plana en comparación a la vivienda Mejorada y EE, a pesar de verse enfrentada a las mismas condiciones climáticas que las otras tipologías y a pesar de que se está observando el comportamiento de la misma vivienda durante el día. Lo anterior es explicable por la materialidad de las ventanas. Puesto que la normativa es más estricta en relación al porcentaje de fachada que corresponde a ventanas en el caso de ventanas de vidriado simple, se asumió el porcentaje máximo permitido por la norma en las casas Tipo. El porcentaje al ser menor que para los casos de vivienda Mejoras y EE no permite aprovechar la radiación solar incidente en las horas de mayor exposición, por lo que se observa la demanda relativamente constante mientras que las tipologías restantes aprovechan mejor la radiación.

**Anexo D: Demandas netas térmicas de viviendas.  
Consumo total.**

**Tabla D.1: Demanda horaria neta de calefacción y ACS en vivienda TIPO.**

Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda TIPO																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1							7,63	7,27								6,22	6,64	6,88	7,06	7,38	7,48	7,69	7,78		72,04
2							8,38	7,65								6,59	7,01	7,25	7,47	7,70	7,80	8,01	8,11		75,97
3							8,48	7,84								6,64	7,11	7,44	7,70	7,85	7,95	8,16	8,25		77,43
4						9,95	9,48	8,63	8,03	7,48	6,91	6,60	6,45	6,16	6,64	7,17	7,60	7,84	7,98	8,12	8,61	8,69	8,77		141,12
5						9,50	9,26	9,39	9,31	8,75	8,29	8,08	7,60	7,60	8,05	8,47	8,67	8,77	8,88	8,98	9,00	9,14	9,16		156,89
6						10,38	10,12	10,34	10,64	10,11	9,65	9,43	8,96	8,83	9,25	9,56	9,66	9,77	9,87	9,98	9,99	10,11	10,12		176,78
7						10,52	10,35	10,37	10,50	9,93	9,32	9,00	8,84	8,47	8,91	9,31	9,41	9,52	9,63	9,74	10,16	10,18	10,19		174,34
8						10,86	10,43	9,88	9,37	8,88	8,52	8,38	7,98	8,06	8,49	8,95	9,28	9,37	9,46	9,55	9,61	9,78	9,83		166,68
9						10,21	9,61	8,89	8,34	7,85	7,32	7,06	6,93	6,68	7,11	7,58	8,02	8,36	8,48	8,60	9,08	9,16	9,24		148,53
10							8,74	8,04								7,01	7,47	7,78	8,11	8,28	8,36	8,55	8,64		80,98
11							8,10	7,79								6,44	6,89	7,18	7,38	7,61	7,84	8,08	8,20		75,50
12							7,93	7,52								6,42	6,77	6,94	7,12	7,34	7,96	8,08	8,20		74,30

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.2: Demanda mensual neta de calefacción y ACS en vivienda TIPO.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	72,04	2233
2	28	75,97	2127
3	31	77,43	2400
4	30	141,12	4233
5	31	156,89	4864
6	30	176,78	5303
7	31	174,34	5405
8	31	166,68	5167
9	30	148,53	4456
10	31	80,98	2510
11	30	75,50	2265
12	31	74,30	2303
Total [kWh/año]			43268
Area vivienda "TIPO" [m2]			70
Consumo [kWh/m2]			618

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.3: Demanda horaria neta de calefacción y ACS en vivienda MEJORADA.**

Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda MEJORADA																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1																	6,45	6,87	7,10	7,75	7,82	8,01	8,08		52,08
2																	6,89	7,29	7,65	8,00	8,08	8,27	8,35		54,53
3																	7,02	7,63	8,03	8,15	8,22	8,40	8,48		55,92
4							9,25	8,06								6,85	7,74	8,09	8,20	8,30	8,77	8,83	8,89		82,96
5							9,25	9,21								8,46	8,80	8,88	8,96	9,03	9,05	9,18	9,19		90,01
6							9,91	10,12								9,49	9,57	9,64	9,72	9,79	9,80	9,92	9,92		97,88
7							10,09	10,10								9,22	9,30	9,38	9,46	9,53	9,95	9,96	9,98		96,97
8							10,09	9,28								8,53	9,25	9,31	9,38	9,44	9,48	9,64	9,68		94,08
9							9,07	7,92								6,85	7,79	8,47	8,56	8,65	9,11	9,17	9,23		84,83
10																	7,23	7,74	8,32	8,44	8,50	8,68	8,74		57,64
11																	6,58	7,10	7,35	7,69	8,08	8,28	8,38		53,46
12																	6,65	6,86	7,10	7,42	8,19	8,29	8,38		52,88

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.4: Demanda mensual neta de calefacción y ACS en vivienda MEJORADA.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	52,08	1614
2	28	54,53	1527
3	31	55,92	1733
4	30	82,96	2489
5	31	90,01	2790
6	30	97,88	2936
7	31	96,97	3006
8	31	94,08	2917
9	30	84,83	2545
10	31	57,64	1787
11	30	53,46	1604
12	31	52,88	1639
Total [kWh/año]			26588
Area vivienda "MEJORADA" [m2]			85
Consumo [kWh/m2]			315

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.5: Demanda horaria neta de calefacción y ACS en vivienda EE.**

Mes	Demanda de calefacción y ACS [kWh] según horario, vivienda EE																								Total calef. [kWh/día]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1																	2,44	2,97	3,24	4,05	4,13	4,32	4,40		25,54
2																	2,96	3,45	3,89	4,32	4,41	4,60	4,68		28,32
3																	3,11	3,87	4,35	4,48	4,56	4,75	4,82		29,93
4							5,59	4,15								2,89	4,02	4,44	4,55	4,67	5,14	5,20	5,27		45,91
5							5,65	5,54								4,76	5,18	5,27	5,35	5,43	5,45	5,57	5,59		53,79
6							6,35	6,57								5,92	6,00	6,08	6,15	6,23	6,24	6,36	6,37		62,27
7							6,54	6,55								5,65	5,73	5,81	5,89	5,98	6,39	6,41	6,42		61,37
8							6,54	5,52								4,74	5,65	5,72	5,79	5,86	5,90	6,06	6,10		57,90
9							5,32	3,91								2,80	3,99	4,85	4,94	5,03	5,50	5,56	5,63		47,53
10																	3,31	3,94	4,66	4,79	4,86	5,03	5,10		31,68
11																	2,56	3,21	3,51	3,92	4,40	4,61	4,71		26,92
12																	2,73	2,97	3,26	3,65	4,52	4,61	4,71		26,46

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.6: Demanda mensual neta de calefacción y ACS en vivienda EE.**

Mes	Días del mes	Total térmico [kWh/día]	Consumo mensual [kWh]
1	31	25,54	792
2	28	28,32	793
3	31	29,93	928
4	30	45,91	1377
5	31	53,79	1668
6	30	62,27	1868
7	31	61,37	1902
8	31	57,90	1795
9	30	47,53	1426
10	31	31,68	982
11	30	26,92	808
12	31	26,46	820
Total [kWh/año]			15159
Area vivienda "EE" [m2]			88
Consumo [kWh/m2]			172

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla D.7: Demanda total térmica del rango de alcance de estudio seleccionado.**

Mes	Consumo total térmico del alcance seleccionado, según horario [kWh]																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	161	161	161	161	161	161	10.188	9.715	161	345	345	345	345	345	345	8.512	16.467	17.311	17.807	19.030	19.247	19.738	19.767	161
2	175	175	175	175	175	175	11.180	10.223	175	387	387	387	387	387	387	9.046	17.542	18.338	19.067	19.790	20.018	20.521	20.534	175
3	220	220	220	220	220	220	11.363	10.511	220	392	392	392	392	392	392	9.114	17.826	19.007	19.832	20.174	20.389	20.879	20.919	220
4	277	277	277	277	277	13.344	23.523	20.955	10.828	10.311	9.551	9.154	8.947	8.577	9.201	17.778	19.444	20.169	20.490	20.807	21.997	22.181	22.160	277
5	317	317	317	317	317	12.794	23.264	23.391	12.548	12.009	11.411	11.128	10.501	10.504	11.095	21.484	22.165	22.396	22.625	22.853	22.902	23.228	23.074	317
6	375	375	375	375	375	14.007	25.257	25.808	14.354	13.855	13.253	12.967	12.346	12.180	12.724	24.218	24.447	24.674	24.900	25.126	25.149	25.449	25.271	375
7	370	370	370	370	370	14.181	25.765	25.807	14.161	13.670	12.866	12.445	12.239	11.754	12.332	23.611	23.848	24.083	24.319	24.553	25.600	25.642	25.429	370
8	393	393	393	393	393	14.653	25.908	24.187	12.694	12.257	11.775	11.602	11.077	11.176	11.738	22.263	23.577	23.771	23.964	24.157	24.286	24.692	24.623	393
9	367	367	367	367	367	13.782	23.561	21.208	11.322	10.882	10.186	9.844	9.682	9.347	9.907	18.418	20.136	21.420	21.681	21.940	23.127	23.308	23.281	367
10	294	294	294	294	294	294	11.769	10.855	294	477	477	477	477	477	477	9.681	18.636	19.663	20.808	21.170	21.355	21.816	21.816	294
11	258	258	258	258	258	258	10.892	10.482	258	422	422	422	422	422	422	8.878	17.024	18.053	18.612	19.326	20.108	20.661	20.772	258
12	248	248	248	248	248	248	10.668	10.120	248	420	420	420	420	420	420	8.857	16.970	17.442	17.970	18.644	20.403	20.672	20.767	248

(Fuente: Elaboración propia)

## **Anexo E: Cálculos en tuberías**

**Tabla E.1: Selección de tubería tramo A.**

Tramo A	Diámetro elegido:	0,492	[m]		
Diámetro interno [m]	Vel. caudal [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	1955,277	122258786	0,0153832	4.478.653	6.368.645,273
0,0262	1185,403	95193864	0,0145922	1.215.815	1.728.889,282
0,0326	765,655	76505498	0,0139530	389.791	554.282,902
0,0408	488,819	61129393	0,0133433	121.399	172.629,210
0,0514	307,994	48522942	0,0127622	36.590	52.031,202
0,0614	215,840	40620183	0,0123460	14.553	20.693,687
0,0736	150,215	33886946	0,0119491	5.691	8.092,778
0,09	100,458	27711991	0,0115411	2.010	2.858,811
0,0974	85,773	25606563	0,0113904	1.337	1.900,622
0,1476	37,350	16897556	0,0106929	157	223,262
0,1902	22,493	13112930	0,0103547	43	60,847
0,2376	14,414	10496966	0,0101213	14	19,550
0,2996	9,065	8324697	0,0099487	4	6,028
0,3376	7,139	7387675	0,0098901	2,3	3,299
0,3804	5,623	6556465	0,0098530	1,3	1,809
0,442	4,165	5642713	0,0098372	0,6	0,853
0,492	3,362	5069267	0,0098470	0,4	0,500
0,592	2,322	4212972	0,0099040	0,1	0,199

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.2: Selección de tubería tramo B.**

Tramo B	Diámetro elegido:	0,442	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	1184,7822	74081609	0,0153893	1.645.058	2.339.272,085
0,0262	718,2841	57681863	0,0146013	446.682	635.182,113
0,0326	463,9420	46357816	0,0139658	143.249	203.700,147
0,0408	296,1955	37040804	0,0133616	44.634	63.470,179
0,0514	186,6262	29402039	0,0127886	13.462	19.143,407
0,0614	130,7863	24613434	0,0123808	5.358	7.619,399
0,0736	91,0213	20533489	0,0119952	2.098	2.982,860
0,09	60,8715	16791831	0,0116040	742	1.055,380
0,0974	51,9734	15516066	0,0114614	494	702,191
0,1476	22,6322	10238922	0,0108239	58	82,979
0,1902	13,6294	7945661	0,0105404	16	22,741
0,2376	8,7339	6360542	0,0103674	5	7,353
0,2996	5,4931	5044275	0,0102692	2	2,285
0,3376	4,3261	4476495	0,0102526	1	1,256
0,3804	3,4074	3972831	0,0102592	0,49	0,692
0,442	2,5238	3419151	0,0102997	0,23	0,328
0,492	2,0369	3071676	0,0103498	0,14	0,193
0,592	1,4069	2552812	0,0104757	0,05	0,077

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.3: Selección de tubería tramo C.**

Tramo C	Diámetro elegido:	<b>0,3376</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	770,4943461	48177177	0,0153973	696.094	989.846,074
0,0262	467,1186514	37512000	0,0146131	189.065	268.850,878
0,0326	301,7133944	30147681	0,0139825	60.656	86.252,370
0,0408	192,6235865	24088588	0,0133853	18.910	26.890,646
0,0514	121,3678205	19120903	0,0128226	5.709	8.117,727
0,0614	85,05366822	16006749	0,0124256	2.274	3.234,086
0,0736	59,19351944	13353457	0,0120544	892	1.267,744
0,09	39,58628729	10920160	0,0116841	316	449,426
0,0974	33,79962464	10090497	0,0115514	210	299,306
0,1476	14,71828052	6658634	0,0109857	25	35,618
0,1902	8,863571775	5167268	0,0107638	7	9,822
0,2376	5,679850679	4136424	0,0106555	2	3,196
0,2996	3,5722856	3280422	0,0106327	1	1,000
<b>0,3376</b>	2,813357452	2911180	0,0106567	0,39	0,552
0,3804	2,215892944	2583634	0,0107043	0,21	0,305
0,442	1,641289731	2223562	0,0107960	0,10	0,145
0,492	1,324645247	1997590	0,0108822	0,06	0,086
0,592	0,91492686	1660159	0,0110681	0,02	0,035

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.4: Selección de tubería tramo D.**

Tramo D	Diámetro elegido:	<b>0,0974</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	26,50614143	1657366	0,0158650	849	1.207,028
0,0262	16,06957027	1290468	0,0152872	234	332,852
0,0326	10,37938558	1037125	0,0149004	76	108,777
0,0408	6,626535358	828683	0,0146277	24	34,778
0,0514	4,175231956	657787	0,0144869	8	10,854
0,0614	2,92597158	550656	0,0144777	3	4,459
0,0736	2,036344337	459379	0,0145557	1	1,812
0,09	1,361826644	375670	0,0147411	0,4719	0,671
<b>0,0974</b>	1,162756918	347128	0,0148407	0,3200	0,455
0,1476	0,506330549	229067	0,0155878	0,0421	0,060
0,1902	0,304919936	177762	0,0162053	0,0123	0,017
0,2376	0,195395237	142299	0,0168351	0,0042	0,006
0,2996	0,122891891	112851	0,0175727	0,0014	0,002
0,3376	0,096783644	100149	0,0179839	0,0008	0,001
0,3804	0,076229984	88881	0,0184160	0,0004	0,001
0,442	0,056462786	76494	0,0189896	0,0002	0,000
0,492	0,045569749	68720	0,0194199	0,0001	0,000
0,592	0,031474833	57112	0,0202050	0,0001	0,000

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.5: Selección de tubería tramo E.**

Tramo E	Diámetro elegido:	<b>0,442</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	1158,276	72424243	0,0153896	1.572.310	2.235.824,212
0,0262	702,215	56391395	0,0146018	426.934	607.100,631
0,0326	453,563	45320692	0,0139665	136.918	194.697,799
0,0408	289,569	36212121	0,0133626	42.663	60.666,711
0,0514	182,451	28744252	0,0127900	12.868	18.298,555
0,0614	127,860	24062778	0,0123828	5.122	7.283,442
0,0736	88,985	20074111	0,0119978	2.005	2.851,504
0,09	59,510	16416162	0,0116075	710	1.008,992
0,0974	50,811	15168938	0,0114654	472	671,356
0,1476	22,126	10009855	0,0108312	56	79,360
0,1902	13,325	7767900	0,0105505	15	21,756
0,2376	8,538	6218243	0,0103806	5	7,036
0,2996	5,370	4931424	0,0102862	2	2,187
0,3376	4,229	4376346	0,0102716	0,85	1,202
0,3804	3,331	3883950	0,0102803	0,47	0,662
<b>0,442</b>	2,467	3342657	0,0103234	0,22	0,314
0,492	1,991	3002956	0,0103754	0,13	0,185
0,592	1,375	2495700	0,0105044	0,05	0,074

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.6: Selección de tubería tramo F.**

Tramo F	Diámetro elegido:	<b>0,2996</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	540,124	33772691	0,0154066	342.279	486.720,604
0,0262	327,455	26296294	0,0146269	92.997	132.242,411
0,0326	211,504	21133831	0,0140019	29.849	42.444,733
0,0408	135,031	16886346	0,0134129	9.312	13.241,744
0,0514	85,080	13403947	0,0128621	2.814	4.001,461
0,0614	59,623	11220894	0,0124775	1.122	1.595,908
0,0736	41,495	9360909	0,0121225	441	626,507
0,09	27,750	7655143	0,0117755	157	222,583
0,0974	23,694	7073541	0,0116537	104	148,387
0,1476	10,318	4667770	0,0111641	13	17,787
0,1902	6,213	3622308	0,0110040	3	4,934
0,2376	3,982	2899675	0,0109575	1,14	1,615
<b>0,2996</b>	2,504	2299609	0,0110032	0,36	0,509
0,3376	1,972	2040767	0,0110628	0,20	0,282
0,3804	1,553	1811154	0,0111456	0,11	0,156
0,442	1,151	1558740	0,0112808	0,05	0,075
0,492	0,929	1400331	0,0113970	0,03	0,044
0,592	0,641	1163789	0,0116330	0,01	0,018

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.7: Selección de tubería tramo G.**

Tramo G	Diámetro elegido:	<b>0,2376</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	230,370	14404486	0,0154458	62.423	88.766,024
0,0262	139,664	11215707	0,0146847	16.984	24.151,688
0,0326	90,209	9013850	0,0140830	5.461	7.765,943
0,0408	57,592	7202243	0,0135272	1.708	2.429,372
0,0514	36,288	5716955	0,0130239	518	737,078
0,0614	25,430	4785855	0,0126877	208	295,208
0,0736	17,698	3992548	0,0123947	82	116,529
0,09	11,836	3265017	0,0121338	29	41,723
0,0974	10,106	3016956	0,0120511	20	27,914
0,1476	4,401	1990864	0,0118143	2	3,424
0,1902	2,650	1544961	0,0118392	1	0,966
<b>0,2376</b>	1,698	1236749	0,0119637	0,23	0,321
0,2996	1,068	980813	0,0121871	0,07	0,103
0,3376	0,841	870413	0,0123361	0,04	0,057
0,3804	0,663	772480	0,0125060	0,02	0,032
0,442	0,491	664822	0,0127472	0,01	0,015
0,492	0,396	597259	0,0129370	0,01	0,009
0,592	0,274	496371	0,0132965	0,00	0,004

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.8: Selección de tubería tramo H.**

Tramo H	Diámetro elegido:	<b>0,1902</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	100,572	6288501	0,0155259	11.959	17.005,598
0,0262	60,972	4896390	0,0148020	3.263	4.639,829
0,0326	39,382	3935135	0,0142459	1.053	1.497,230
0,0408	25,143	3144250	0,0137537	331	470,765
0,0514	15,842	2495825	0,0133379	101	143,866
0,0614	11,102	2089339	0,0130867	41	58,033
0,0736	7,726	1743008	0,0128974	16	23,110
0,09	5,167	1425394	0,0127709	6	8,369
0,0974	4,412	1317099	0,0127459	4	5,627
0,1476	1,921	869142	0,0128442	0	0,710
<b>0,1902</b>	1,157	674476	0,0130826	0	0,203
0,2376	0,741	539922	0,0133899	0,05	0,068
0,2996	0,466	428189	0,0137957	0,02	0,022
0,3376	0,367	379992	0,0140354	0,01	0,012
0,3804	0,289	337238	0,0142941	0,00	0,007
0,442	0,214	290238	0,0146452	0,00	0,003
0,492	0,173	260743	0,0149127	0,00	0,002
0,592	0,119	216698	0,0154063	0,00	0,001

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.9: Selección de tubería tramo I.**

Tramo I	Diámetro elegido:	<b>0,3804</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	1057,704	66135742	0,0153911	1.311.245	1.864.591,024
0,0262	641,242	51495005	0,0146040	356.066	506.325,592
0,0326	414,180	41385556	0,0139696	114.199	162.390,621
0,0408	264,426	33067871	0,0133670	35.587	50.605,401
0,0514	166,609	26248427	0,0127963	10.736	15.266,317
0,0614	116,758	21973439	0,0123911	4.274	6.077,590
0,0736	81,259	18331102	0,0120088	1.674	2.379,987
0,09	54,343	14990768	0,0116224	592	842,458
0,0974	46,399	13851839	0,0114821	394	560,649
0,1476	20,205	9140712	0,0108616	47	66,363
0,1902	12,168	7093423	0,0105929	13	18,215
0,2376	7,797	5678321	0,0104358	4,15	5,899
0,2996	4,904	4503235	0,0103566	1,29	1,836
0,3376	3,862	3996354	0,0103503	0,71	1,010
<b>0,3804</b>	3,042	3546712	0,0103675	0,39	0,557
0,442	2,253	3052419	0,0104213	0,19	0,264
0,492	1,818	2742214	0,0104808	0,11	0,156
0,592	1,256	2279002	0,0106225	0,04	0,063

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.10: Selección de tubería tramo J.**

Tramo J	Diámetro elegido:	<b>0,1476</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	65,187	4076014	0,0155975	5.047	7.177,417
0,0262	39,520	3173691	0,0149060	1.380	1.962,996
0,0326	25,526	2550635	0,0143887	447	635,325
0,0408	16,297	2038007	0,0139488	141	200,586
0,0514	10,268	1617718	0,0136023	43	61,640
0,0614	7,196	1354246	0,0134152	18	24,993
0,0736	5,008	1129765	0,0133000	7	10,012
0,09	3,349	923897	0,0132641	3	3,652
0,0974	2,860	853703	0,0132764	2	2,462
<b>0,1476</b>	1,245	563352	0,0135749	0	0,315
0,1902	0,750	437175	0,0139320	0	0,091
0,2376	0,481	349961	0,0143389	0,0216	0,031
0,2996	0,302	277539	0,0148447	0,0070	0,010
0,3376	0,238	246299	0,0151350	0,0039	0,006
0,3804	0,187	218588	0,0154442	0,0022	0,003
0,442	0,139	188124	0,0158591	0,0011	0,002
0,492	0,112	169005	0,0161727	0,0006	0,001
0,592	0,077	140457	0,0167476	0,0003	0,000

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.11: Selección de tubería tramo K.**

Tramo K	Diámetro elegido:	<b>0,1902</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	165,183	10328471	0,0154711	32,147	45.712,596
0,0262	100,143	8042016	0,0147220	8,754	12.448,724
0,0326	64,683	6463215	0,0141350	2,818	4.007,475
0,0408	41,296	5164236	0,0135999	883	1.255,738
0,0514	26,019	4099238	0,0131256	269	381,917
0,0614	18,234	3431609	0,0128182	108	153,338
0,0736	12,690	2862783	0,0125610	43	60,715
0,09	8,487	2341120	0,0123476	15	21,829
0,0974	7,246	2163253	0,0122858	10	14,631
0,1476	3,155	1427512	0,0121743	1,2758	1,814
<b>0,1902</b>	1,900	1107786	0,0122821	0,3622	0,515
0,2376	1,218	886788	0,0124787	0,1210	0,172
0,2996	0,766	703274	0,0127744	0,0389	0,055
0,3376	0,603	624114	0,0129591	0,0217	0,031
0,3804	0,475	553893	0,0131639	0,0121	0,017
0,442	0,352	476699	0,0134479	0,0059	0,008
0,492	0,284	428254	0,0136678	0,0035	0,005
0,592	0,196	355914	0,0140785	0,0014	0,002

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.12: Selección de tubería tramo L.**

Tramo L	Diámetro elegido:	<b>0,1476</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	64,471	4031223	0,0155997	4,938	7.021,529
0,0262	39,086	3138815	0,0149092	1,351	1.920,499
0,0326	25,246	2522606	0,0143930	437	621,626
0,0408	16,118	2015612	0,0139547	138	196,285
0,0514	10,155	1599941	0,0136102	42	60,327
0,0614	7,117	1339364	0,0134249	17	24,464
0,0736	4,953	1117350	0,0133118	7	9,802
0,09	3,312	913744	0,0132783	3	3,576
0,0974	2,828	844322	0,0132916	2	2,411
<b>0,1476</b>	1,232	557161	0,0135955	0,2170	0,309
0,1902	0,742	432371	0,0139556	0,0627	0,089
0,2376	0,475	346115	0,0143650	0,0212	0,030
0,2996	0,299	274489	0,0148735	0,0069	0,010
0,3376	0,235	243593	0,0151652	0,0039	0,005
0,3804	0,185	216185	0,0154757	0,0022	0,003
0,442	0,137	186056	0,0158923	0,0011	0,001
0,492	0,111	167148	0,0162071	0,0006	0,001
0,592	0,077	138914	0,0167842	0,0003	0,000

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.13: Selección de tubería tramo M.**

Tramo M	Diámetro elegido:	<b>0,1476</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caida de presión [psi]
0,0204	36,100	2257278	0,0157497	1.563	2.222,720
0,0262	21,886	1757575	0,0151243	430	610,844
0,0326	14,136	1412530	0,0146837	140	198,843
0,0408	9,025	1128639	0,0143439	44	63,260
0,0514	5,687	895885	0,0141228	14	19,628
0,0614	3,985	749975	0,0140461	6	8,026
0,0736	2,773	625658	0,0140527	2	3,244
0,09	1,855	511650	0,0141580	1	1,196
0,0974	1,584	472777	0,0142265	1	0,809
<b>0,1476</b>	0,690	311981	0,0148153	0,0742	0,105
0,1902	0,415	242105	0,0153405	0,0216	0,031
0,2376	0,266	193807	0,0158903	0,0074	0,010
0,2996	0,167	153700	0,0165433	0,0024	0,003
0,3376	0,132	136399	0,0169098	0,0014	0,0019
0,3804	0,104	121053	0,0172961	0,0008	0,0011
0,442	0,077	104182	0,0178100	0,0004	0,0005
0,492	0,062	93594	0,0181962	0,0002	0,0003
0,592	0,043	77785	0,0189013	0,0001	0,0001

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.14: Selección de tubería tramo N.**

Tramo N	Diámetro elegido:	<b>0,0974</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caida de presión [psi]
0,0204	26,641	1665800	0,0158628	857	1.219,180
0,0262	16,151	1297035	0,0152842	236	336,182
0,0326	10,432	1042403	0,0148964	77	109,858
0,0408	6,660	832900	0,0146225	25	35,120
0,0514	4,196	661135	0,0144804	8	10,960
0,0614	2,941	553458	0,0144699	3	4,503
0,0736	2,047	461716	0,0145468	1,2862	1,829
0,09	1,369	377581	0,0147308	0,4764	0,677
<b>0,0974</b>	1,169	348895	0,0148299	0,3231	0,459
0,1476	0,509	230233	0,0155743	0,0425	0,060
0,1902	0,306	178666	0,0161903	0,0124	0,018
0,2376	0,196	143023	0,0168188	0,0042	0,006
0,2996	0,124	113426	0,0175549	0,0014	0,002
0,3376	0,097	100659	0,0179654	0,0008	0,0011
0,3804	0,077	89333	0,0183967	0,0004	0,0006
0,442	0,057	76883	0,0189692	0,0002	0,0003
0,492	0,046	69070	0,0193988	0,0001	0,0002
0,592	0,032	57403	0,0201825	0,0001	0,0001

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.15: Selección de tubería tramo O.**

Tramo O	Diámetro elegido:	<b>0,3804</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	1031,063	64469942	0,0153915	1.246.058	1.771.894,780
0,0262	625,091	50197970	0,0146046	338.370	481.161,751
0,0326	403,748	40343154	0,0139705	108.525	154.323,205
0,0408	257,766	32234971	0,0133683	33.821	48.092,893
0,0514	162,413	25587292	0,0127982	10.203	14.509,061
0,0614	113,817	21419981	0,0123935	4.062	5.776,425
0,0736	79,212	17869386	0,0120120	1.590,8676	2.262,214
0,09	52,974	14613187	0,0116268	563,1897	800,856
0,0974	45,230	13502945	0,0114870	374,8178	532,991
0,1476	19,696	8910480	0,0108705	44,3838	63,114
0,1902	11,861	6914757	0,0106053	12,1864	17,329
0,2376	7,601	5535298	0,0104519	3,9479	5,614
0,2996	4,780	4389809	0,0103770	1,2296	1,749
0,3376	3,765	3895696	0,0103732	0,6766	0,9621
<b>0,3804</b>	2,965	3457379	0,0103927	0,3732	0,5307
0,442	2,196	2975536	0,0104495	0,1772	0,2519
0,492	1,773	2673144	0,0105112	0,1043	0,1483
0,592	1,224	2221599	0,0106564	0,0419	0,0596

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.16: Selección de tubería tramo P.**

Tramo P	Diámetro elegido:	<b>0,1902</b>	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	160,461	10033266	0,0154737	30.340	43.144,060
0,0262	97,281	7812162	0,0147258	8.263	11.750,309
0,0326	62,834	6278486	0,0141402	2.660	3.783,080
0,0408	40,115	5016633	0,0136072	834	1.185,623
0,0514	25,276	3982075	0,0131359	254	360,679
0,0614	17,713	3333528	0,0128312	102	144,845
0,0736	12,328	2780960	0,0125775	40,3444	57,370
0,09	8,244	2274207	0,0123687	14,5107	20,634
0,0974	7,039	2101423	0,0123088	9,7275	13,832
0,1476	3,065	1386712	0,0122089	1,2073	1,717
<b>0,1902</b>	1,846	1076123	0,0123242	0,3430	0,488
0,2376	1,183	861442	0,0125271	0,1146	0,163
0,2996	0,744	683173	0,0128292	0,0368	0,052
0,3376	0,586	606276	0,0130171	0,0206	0,0292
0,3804	0,461	538062	0,0132249	0,0115	0,0164
0,442	0,342	463074	0,0135128	0,0055	0,0079
0,492	0,276	416013	0,0137353	0,0033	0,0047
0,592	0,191	345741	0,0141506	0,0013	0,0019

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.17: Selección de tubería tramo Q.**

Tramo Q	Diámetro elegido:	0,0514	[m]		
Diámetro interno [m]	Velocidad [m/s]	Reynolds	Factor fricción	Caída presión [m]	Caída de presión [psi]
0,0204	4,721	295205	0,0173817	30	41,955
0,0262	2,862	229854	0,0173016	8	11,951
0,0326	1,849	184730	0,0174126	3	4,033
0,0408	1,180	147603	0,0176939	1	1,335
0,0514	0,744	117163	0,0181462	0	0,431
0,0614	0,521	98081	0,0185966	0	0,182
0,0736	0,363	81823	0,0191394	0,0531	0,076
0,09	0,243	66913	0,0198334	0,0201	0,029
0,0974	0,207	61829	0,0201310	0,0138	0,020
0,1476	0,090	40801	0,0219191	0,0019	0,003
0,1902	0,054	31662	0,0231923	0,0006	0,001
0,2376	0,035	25346	0,0244278	0,0002	0,000
0,2996	0,022	20101	0,0258404	0,0001	0,000
0,3376	0,017	17838	0,0266213	0,000036	0,0001
0,3804	0,014	15831	0,0274403	0,000021	0,0000
0,442	0,010	13625	0,0285281	0,000010	0,0000
0,492	0,008	12240	0,0293466	0,000006	0,0000
0,592	0,006	10173	0,0308479	0,000003	0,0000

(Fuente: elaboración propia)

**Tabla E.18: Costos estimados por aislar cañerías con caños pre moldeados de lana mineral con recubrimiento de zinc alum de 0,4 [mm] (instalada).**

Diámetro cañería [in]	Costo aislante, [US\$/m] (1)							
	Espesor de aislación [m]							
	0,025	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1	14,3	16,5	18,6	20,0	21,3	25,4	27,2	
2	15,4	18,5	21,1	23,4	25,5	27,9	30,5	
3	17,0	20,5	23,1	25,6	29,7	30,4	33,9	
4	18,2	22,3	25,6	28,5	31,5	34,2	37,2	40,3
6	23,2	26,8	30,4	33,3	37,4	40,5	43,9	47,3
8	28,2	31,1	35,2	39,0	43,4	47,2	51,4	55,6
10	30,6	35,3	40,0	44,6	49,3	53,9	58,6	63,3
12	34,3	39,5	44,7	49,3	55,2	59,7	65,3	71,0
14	38,0	43,6	49,3	54,1	61,2	65,9	72,1	78,3
16	41,7	47,8	53,9	58,9	67,2	72,9	78,9	84,9
18	45,3	52,0	58,6	63,6	73,1	78,4	85,6	92,8
20	49,0	56,1	63,2	68,4	79,1	84,6	92,4	100,1

(Fuente: “Guía para el ahorro de combustibles y cumplimiento de normas ambientales”, Copec S.A., Gamma Ingenieros, 2009)

(1) Costos del año 2009. En análisis se utilizan estos valores, con un tipo de cambio de 501,1 [\$/US\$] y una inflación entre 2009 y 2012 de 7,76% (INE). Valores en gris son extrapolados.

Las pérdidas de calor en cañerías se calculan asumiendo una temperatura de tierra de 5,65° C (promedio anual) y una temperatura del agua a 90° C. Se selecciona espesor comercial que genere el menor CCV.

Tabla E.19: Selección de espesor de aislante cañería PEX, 4”.

4", PEX										
Esesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d [m]	d+ Delta [m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kW/h/m]	CCV [\$/m]
0	0,03	0,03	0,038	0,649	0,719	11,158	0,3675	84,3	0,2295	99,429
0,025	0,03	0,113	0,1138	0,669	0,739	6,474	2,5328	84,3	0,0380	24,240
0,04	0,03	0,148	0,1488	0,689	0,759	5,288	3,4061	84,3	0,0246	22,759
0,05	0,03	0,163	0,1638	0,699	0,769	4,654	3,8922	84,3	0,02167	23,203
0,06	0,03	0,183	0,1838	0,709	0,779	4,197	4,3215	84,3	0,01952	23,837
0,07	0,03	0,203	0,2038	0,719	0,789	3,836	4,7005	84,3	0,0173	24,768
0,08	0,03	0,223	0,2238	0,729	0,799	3,534	5,0569	84,3	0,01609	25,691
0,09	0,03	0,243	0,2438	0,739	0,809	3,282	5,3724	84,3	0,01570	26,882
0,1	0,03	0,263	0,2638	0,749	0,819	3,077	5,6668	84,3	0,01489	28,204

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.20: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 4”.

4", PP/FRP										
Esesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d [m]	d+ Delta [m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kW/h/m]	CCV [\$/m]
0	0,123	0,123	0,1235	0,6715	0,7415	6,0061	0,8239	84,3	0,10238	44,309
0,025	0,123	0,173	0,1735	0,6955	0,7655	4,4193	2,0920	84,3	0,04032	27,277
0,04	0,123	0,203	0,2035	0,7115	0,7815	3,8415	2,6850	84,3	0,03141	25,637
0,05	0,123	0,223	0,2235	0,7215	0,7915	3,5425	3,0342	84,3	0,02780	25,855
0,06	0,123	0,243	0,2435	0,7315	0,8015	3,2926	3,3533	84,3	0,02515	26,276
0,07	0,123	0,263	0,2635	0,7415	0,8115	3,0806	3,6472	84,3	0,02313	27,019
0,08	0,123	0,283	0,2835	0,7515	0,8215	2,886	3,9195	84,3	0,02152	27,781
0,09	0,123	0,303	0,3035	0,7615	0,8315	2,7405	4,1732	84,3	0,02021	28,835
0,1	0,123	0,323	0,3235	0,7715	0,8415	2,6020	4,4107	84,3	0,01912	30,038

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.21: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 6”.

6", PP/FRP										
Esesor comercial aislante[m]	Diam interno aislante[m]	Diam externo aislante[m]	Diam externo cañería[m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia técnica total [m²C/W]	Delta T[°C]	Pérdida de calor [kW/mh]	CCV[\$/m]
0	0170	0170	017046	06523	07623	4482	0524	84,35	015844	68571
0025	0170	0220	022046	07203	07903	35845	1406	84,35	00369	37019
004	0170	0250	025046	07523	08023	32150	1966	84,35	004291	33044
005	0170	0270	027046	07523	08153	30142	22516	84,35	003746	32628
006	0170	0290	029046	07523	08253	28411	25172	84,35	003551	32484
007	0170	0310	031046	07523	08353	26803	2760	84,35	003051	33338
008	0170	0330	033046	07523	08453	25577	29973	84,35	002814	34049
009	0170	0350	035046	07523	08553	24403	32160	84,35	002623	35057
01	0170	0370	037046	07523	08653	23356	3425	84,35	002465	36228

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.22: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 8”.

8", PP/FRP										
Esesor comercial aislante[m]	Diam interno aislante[m]	Diam externo aislante[m]	Diam externo cañería[m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia técnica total [m²C/W]	Delta T[°C]	Pérdida de calor [kW/mh]	CCV[\$/m]
0	0214	0214	021502	071751	078751	36625	0520	84,35	015975	69136
0025	0214	0264	026502	074251	081251	30658	13065	84,35	006466	48169
004	0214	0294	029502	075751	082751	28049	17056	84,35	004945	38169
005	0214	0314	031502	076751	083751	26686	19498	84,35	004326	37730
006	0214	0334	033502	077751	084751	25297	21788	84,35	003871	37787
007	0214	0354	033502	078751	085751	24154	23946	84,35	003523	38653
008	0214	0374	037502	079751	086751	23132	25885	84,35	003246	39536
009	0214	0394	038502	080751	087751	22214	27918	84,35	003021	40831
01	0214	0414	041502	081751	088751	21385	29756	84,35	002835	42291

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.23: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 10”.

10", PP/FRP										
Esesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d [m]	d+ Delta [m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kW/h/m]	CCV [\$/m]
0	0,264	0,264	0,26502	0,74251	0,81251	3,0688	0,4531	84,35	0,18617	80,571
005	0,264	0,314	0,31502	0,76751	0,83751	2,6886	1,0864	84,35	0,07694	49,820
004	0,264	0,344	0,34502	0,78251	0,85251	2,4709	1,4849	84,35	0,03879	44,503
005	0,264	0,364	0,36502	0,79251	0,86251	2,3629	1,6446	84,35	0,03129	43,797
006	0,264	0,384	0,38502	0,80251	0,87251	2,2661	1,8480	84,35	0,04577	43,890
007	0,264	0,404	0,40502	0,81251	0,88251	2,1789	2,0814	84,35	0,04152	44,591
008	0,264	0,424	0,42502	0,82251	0,89251	2,0999	2,2107	84,35	0,03815	45,618
009	0,264	0,444	0,44502	0,83251	0,90251	2,0280	2,3818	84,35	0,03541	46,970
01	0,264	0,464	0,46502	0,84251	0,91251	1,9623	2,5453	84,35	0,03314	48,523

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.24: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 12”.

12", PP/FRP										
Esesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d [m]	d+ Delta [m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kW/h/m]	CCV [\$/m]
0	0,332	0,332	0,33256	0,77628	0,84628	2,54474	0,41929	84,35	0,20117	87,064
005	0,332	0,382	0,38256	0,80128	0,87128	2,27499	0,94049	84,35	0,08869	57,322
004	0,332	0,412	0,41256	0,81628	0,88628	2,14825	1,22139	84,35	0,06906	51,203
005	0,332	0,432	0,43256	0,83128	0,90128	2,07206	1,39740	84,35	0,06036	50,244
006	0,332	0,452	0,45256	0,84628	0,91628	2,00263	1,56557	84,35	0,05388	49,955
007	0,332	0,472	0,47256	0,86128	0,93128	1,93897	1,72640	84,35	0,04886	50,963
008	0,332	0,492	0,49256	0,87628	0,94628	1,88042	1,88062	84,35	0,04485	51,633
009	0,332	0,512	0,51256	0,89128	0,96128	1,82674	2,02854	84,35	0,04158	53,267
01	0,332	0,532	0,53256	0,90628	0,97628	1,77851	2,17906	84,35	0,03885	55,138

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.25: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 14”.

14", PP/FRP										
Esesor comercial aislante[m]	Diam interno aislante[m]	Diam externo aislante[m]	Diam externo cañería[m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diamExt. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T[°C]	Pérdida de calor [kW/hm]	CCV[\$/m]
0	0,374	0,374	0,3745	0,793	0,853	2,3153	0,4092	84,35	0,20613	89,210
0025	0,374	0,424	0,4245	0,823	0,893	2,1015	0,8753	84,35	0,08637	62,197
004	0,374	0,454	0,4545	0,833	0,903	1,9938	1,1293	84,35	0,07469	55,886
005	0,374	0,474	0,4745	0,843	0,913	1,9328	1,2894	84,35	0,06542	54,938
006	0,374	0,494	0,4945	0,853	0,923	1,8748	1,4429	84,35	0,05846	54,507
007	0,374	0,514	0,5145	0,863	0,933	1,8214	1,5903	84,35	0,05304	55,936
008	0,374	0,534	0,5345	0,873	0,943	1,7720	1,7321	84,35	0,04870	56,666
009	0,374	0,554	0,5545	0,883	0,953	1,7261	1,8687	84,35	0,04514	58,488
01	0,374	0,574	0,5745	0,893	0,963	1,6834	2,0004	84,35	0,04217	60,503

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.26: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 16”.

16", PP/FRP										
Esesor comercial aislante[m]	Diam interno aislante[m]	Diam externo aislante[m]	Diam externo cañería[m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diamExt. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T[°C]	Pérdida de calor [kW/hm]	CCV[\$/m]
0	0,421	0,421	0,4224	0,82107	0,89107	2,1103	0,4017	84,35	0,2100	90,884
0025	0,421	0,471	0,4724	0,84607	0,91607	1,9403	0,8180	84,35	0,1081	67,143
004	0,421	0,501	0,5024	0,86107	0,93107	1,8542	1,0471	84,35	0,0806	60,673
005	0,421	0,521	0,5224	0,87107	0,94107	1,8023	1,1924	84,35	0,0707	59,721
006	0,421	0,541	0,5424	0,88107	0,95107	1,7543	1,3321	84,35	0,0633	59,203
007	0,421	0,561	0,5624	0,89107	0,96107	1,7097	1,4668	84,35	0,0575	61,174
008	0,421	0,581	0,5824	0,90107	0,97107	1,6681	1,5968	84,35	0,0528	62,226
009	0,421	0,601	0,6024	0,91107	0,98107	1,6293	1,7223	84,35	0,0490	63,800
01	0,421	0,621	0,6224	0,92107	0,99107	1,5930	1,8488	84,35	0,0457	65,644

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.27: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 18”.

18", PP/FRP										
Espesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kWh/mh]	CCV[\$/m]
0	0,473	0,473	0,47416	0,84708	0,91708	1,9341	0,3546	84,35	0,2379	102,949
0,025	0,473	0,523	0,52416	0,87208	0,94208	1,7973	0,7274	84,35	0,1160	74,662
0,04	0,473	0,553	0,55416	0,88708	0,95708	1,7271	0,9343	84,35	0,0903	67,128
0,05	0,473	0,573	0,57416	0,89708	0,96708	1,6843	1,0662	84,35	0,0791	65,878
0,06	0,473	0,593	0,59416	0,90708	0,97708	1,6445	1,1984	84,35	0,0707	64,987
0,07	0,473	0,613	0,61416	0,91708	0,98708	1,6072	1,3165	84,35	0,0641	67,208
0,08	0,473	0,633	0,63416	0,92708	0,99708	1,5723	1,4356	84,35	0,0588	67,758
0,09	0,473	0,653	0,65416	0,93708	1,00708	1,5395	1,5510	84,35	0,0544	69,760
0,1	0,473	0,673	0,67416	0,94708	1,01708	1,5087	1,6628	84,35	0,0507	72,069

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla E.27: Selección de espesor de aislante cañería PP/FRP, 18”.

20", PP/FRP										
Espesor comercial aislante [m]	Diam interno aislante [m]	Diam externo aislante [m]	Diam externo cañería [m] r0	d[m]	d+ Delta[m]	(d+delta)/ diam Ext. Cañería	Resistencia térmica total [m <sup>2</sup> °C/W]	Delta T [°C]	Pérdida de calor [kWh/mh]	CCV[\$/m]
0	0,523	0,52336	0,52416	0,87208	0,94208	1,7973	0,3232	84,35	0,2610	112,987
0,025	0,523	0,57336	0,57416	0,89708	0,95708	1,6843	0,6620	84,35	0,1274	81,610
0,04	0,523	0,60336	0,60416	0,91208	0,98208	1,6255	0,8513	84,35	0,0991	73,186
0,05	0,523	0,62336	0,62416	0,92208	0,99208	1,5895	0,9723	84,35	0,0868	71,687
0,06	0,523	0,64336	0,64416	0,93208	1,00208	1,5556	1,0895	84,35	0,0774	70,424
0,07	0,523	0,66336	0,66416	0,94208	1,01208	1,5238	1,2031	84,35	0,0701	73,088
0,08	0,523	0,68336	0,68416	0,95208	1,02208	1,4939	1,3134	84,35	0,0642	73,494
0,09	0,523	0,70336	0,70416	0,96208	1,03208	1,4657	1,4204	84,35	0,0594	75,574
0,1	0,523	0,72336	0,72416	0,97208	1,04208	1,4390	1,5244	84,35	0,0553	77,994

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.28: Comportamiento del consumo energético del sistema de bombeo**

Mes	Consumo energético total del sistema de bombeo, [kWh]																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	9,21	8,13	8,13	8,13	8,13	8,13	514,65	490,76	8,13	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	429,99	831,84	874,48	899,53
2	10,01	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	564,77	516,42	8,84	19,55	19,55	19,55	19,55	19,55	19,55	456,97	886,15	926,36	963,18
3	12,58	11,11	11,11	11,11	11,11	11,11	574,01	530,97	11,11	19,80	19,80	19,80	19,80	19,80	19,80	460,40	900,49	960,15	1.001,83
4	15,84	13,99	13,99	13,99	13,99	674,08	1.188,28	1.058,56	546,98	520,87	482,48	462,42	451,96	433,27	464,80	898,07	982,23	1.018,85	1.035,07
5	18,13	16,01	16,01	16,01	16,01	646,30	1.175,20	1.181,61	633,87	606,64	576,44	562,14	530,47	530,62	560,47	1.085,28	1.119,68	1.131,35	1.142,92
6	21,44	18,94	18,94	18,94	18,94	707,57	1.275,88	1.303,71	725,10	699,90	669,49	655,04	623,67	615,28	642,76	1.223,39	1.234,96	1.246,43	1.257,84
7	21,16	18,69	18,69	18,69	18,69	716,36	1.301,54	1.303,66	715,35	690,55	649,94	628,67	618,26	593,76	622,96	1.192,73	1.204,70	1.216,57	1.228,49
8	22,47	19,85	19,85	19,85	19,85	740,21	1.308,76	1.221,83	641,25	619,17	594,82	586,08	559,56	564,56	592,95	1.124,63	1.191,01	1.200,81	1.210,56
9	20,99	18,54	18,54	18,54	18,54	696,21	1.190,20	1.071,34	571,94	549,71	514,55	497,28	489,09	472,17	500,46	930,40	1.016,88	1.082,05	1.095,23
10	16,81	14,85	14,85	14,85	14,85	14,85	594,52	548,35	14,85	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	489,04	941,41	993,29	1.051,13
11	14,75	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	550,22	529,51	13,03	21,32	21,32	21,32	21,32	21,32	21,32	448,48	859,98	911,96	940,20
12	14,18	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53	538,90	511,22	12,53	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	447,42	857,25	881,10	907,77

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.29: Comportamiento del costo energético del sistema de bombeo, parte 1**

Mes	Costo energético por hora, [US\$]																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	31,65	30,18	0,50	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	26,44	51,16	53,78	55,32
2	0,62	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	34,73	31,76	0,54	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	28,10	54,50	56,97	59,24
3	0,77	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	35,30	32,65	0,68	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	28,31	55,38	59,05	61,61
4	0,97	0,86	0,86	0,86	0,86	41,46	73,08	65,10	33,64	32,03	29,67	28,44	27,80	26,65	28,58	55,23	60,41	62,66	63,66
5	1,11	0,98	0,98	0,98	0,98	39,75	72,27	72,67	38,98	37,31	35,45	34,57	32,62	32,63	34,47	66,74	68,86	69,58	70,29
6	1,32	1,17	1,17	1,17	1,17	43,52	78,47	80,18	44,59	43,04	41,17	40,28	38,36	37,84	39,53	75,24	75,95	76,66	77,36
7	1,30	1,15	1,15	1,15	1,15	44,06	80,04	80,18	43,99	42,47	39,97	38,66	38,02	36,52	38,31	73,35	74,09	74,82	75,55
8	1,38	1,22	1,22	1,22	1,22	45,52	80,49	75,14	39,44	38,08	36,58	36,04	34,41	34,72	36,47	69,16	73,25	73,85	74,45
9	1,29	1,14	1,14	1,14	1,14	42,82	73,20	65,89	35,17	33,81	31,65	30,58	30,08	29,04	30,78	57,22	62,54	66,55	67,36
10	1,03	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	36,56	33,72	0,91	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	30,08	57,90	61,09	64,64
11	0,91	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	33,84	32,56	0,80	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	27,58	52,89	56,09	57,82
12	0,87	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	33,14	31,44	0,77	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	27,52	52,72	54,19	55,83

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla E.30: Comportamiento del costo energético del sistema de bombeo, parte 2**

					Total día	Total mensual
20	21	22	23	24	[US\$]	[US\$]
59,12	59,80	61,32	61,41	0,50	500,68	15.521
61,48	62,19	63,75	63,79	0,54	528,16	15.317
62,67	63,34	64,87	64,99	0,68	541,05	16.773
64,64	68,34	68,91	68,84	0,86	904,41	27.132
71,00	71,15	72,16	71,68	0,98	998,24	30.945
78,06	78,13	79,06	78,51	1,17	1.113,09	33.393
76,28	79,53	79,66	79,00	1,15	1.101,56	34.148
75,05	75,45	76,71	76,50	1,22	1.058,80	32.823
68,16	71,85	72,41	72,33	1,14	948,41	28.452
65,77	66,34	67,78	67,78	0,91	567,98	17.607
60,04	62,47	64,19	64,53	0,80	526,40	15.792
57,92	63,39	64,22	64,52	0,77	518,98	16.088
					<b>Total</b>	<b>283.992</b>

(Fuente: Elaboración propia)

## **Anexo F: Minutas de reunión**

## Reunión 1. Ministerio de Medio ambiente.

### Participantes:

- Viviana Ubilla A. Profesional, Ministerio del Medio Ambiente
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 05/04/2012, 16:30

Lugar: Oficinas 2° piso del Ministerio de Medio Ambiente

Contactos: vubilla@mma.gob.cl

---

- Ministerios enfocados en desarrollo de biomasa, porque:
  - Disponible en el país.
  - Permite mantener el precio de la energía en el tiempo.
  - Fortalece economías locales.
  - Independiza al país (símil a Europa).
- Desarrollo de calefacción centralizada para varias viviendas, uso de transmisión por líquido.
- Ha aumentado el material particulado en el último tiempo.
- VI y XI regiones saturadas.
- El ministerio de energía (alineado con más ministerios):
  - Estrategia nacional de energía.
  - Abaratar la matriz.
  - Crecimiento económico con energía limpia.
  - Meta de 10% de matriz con ERNC.
  - Promoción de la cogeneración.
- Biocombustible compite cerca de donde se extrae. Transportarlo deja huella de carbono. Descarta biomasa.
- Ejemplo de cogeneración en EEUU.
- Edelmag está en libertad de recuperar o no el calor.
- Política de inserción en comunidad.
- CHP de la EPA. Webinar (documentos de presentación. Ej. Hoteles CHP, buscar aplicables)
- Calefacción distrital con la política de implementación para todos.
- Mejora economía, NO pueden aumentar los gastos (NO transporte, NO huella, NO encarecer la matriz. Sólo GN).
- Ahorro de energía.
- Disminuir contaminante.

Hay convenio con U. de Concepción.

Meta de que cogeneración con eficiencia energética sea importante en el país.

Gestión del cambio (ejemplo de Alemania). Cooperativa de operación.

## Reunión 2. Empresa Eléctrica de Magallanes.

### Participantes:

- Luis Velásquez Pérez Supervisor Departamento Estudios, Edelmag.
- Víctor Curguán Cárcamo Ingeniero, Edelmag.
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 28/05/2012, 10:00

Lugar: Oficinas centrales de Edelmag, Croacia 444, Punta Arenas, Chile (Central Punta Arenas).

Contactos: [lvelasquez@edelmag.cl](mailto:lvelasquez@edelmag.cl); [vacarguanc@edelmag.cl](mailto:vacarguanc@edelmag.cl)

---

- Edelmag cuenta con 130 empleados.
- 4 Sistemas eléctricos aislados:
  - Punta Arenas
  - Puerto Natales
  - Porvenir
  - Puerto Williams
- Empresas como Enap y Methanex cuentan con sistemas propios. Methanex cuenta con 3 aere generadores de 850 [kWh].
- Municipalidades pequeñas igual.
- 52.000 clientes.
- Demanda máxima de sistema Punta Arenas es de 45 [MW]. Ocurre en los días hábiles de Abril, aprox. Entre 7 y 8 de la mañana.
- Cerca de Tres Puentes está sector industrial. Se menciona Sodimac colindante con centro comercial Espacio Urbano. Existen condominios nuevos en el sector.
- Probable plan piloto en sector residencial.
- Se menciona planes de mejoramiento de envolvente como parte de las medidas implementadas a partir de conflicto del gas. Aprox. 1.000 casas.
- En la región, el 80% del consumo energético es térmico. 1,1% es iluminación.
- Efectividad promedio de máquinas de central, 27%.
- Se selecciona equipos a utilizar según sus rendimientos dadas sus cargas. Se elije la más eficiente dada la carga que va a tener.
- Considerar costo de intervención.
- Para estudio de recuperación de gases de escape de central, desarrollado por Edelmag se consideró,
  - Demandas eléctricas pasadas
  - Demanda proyectada hasta el año 2030. Crecimiento de parque de generación.
- Hay interés, se ha trabajado y se trabaja en esto.
- Hay información no publicable.

- Se ha analizado calderas radiantes, quemadores suplementarios
- Implementación bajo normativa de 2012 (NOx)
- Se considera que al largo plazo, conviene el ciclo combinado (vs. Situación actual).
- Más utilizadas: Turbinas Solar de 15 y 14 [MW]. Las dos en operación `permiten la obtención de 10[MW] mediante turbina a vapor.
- El calor de desecho se valoriza según aumento de eficiencia de la máquina. El valor está en cuánto aumenta el rendimiento del sistema.
- Llama la atención la calefacción distrital.
- Se está evaluando todas las medidas posibles.
- En curso estudios de ampliación de matriz energética. Esta es opción interesante
- Abre nuevo negocio para Edelmag.
- Red puede ser problemática por humedal. Se menciona que la red de fibra óptica de la empresa Claro ya pasa por ahí.
- Se menciona la existencia de un regimiento y de Agro Marín (matadero) en el sector industrial.
- Analizar expansión, proyectar crecimiento. Ejemplo, villa al norte del condominio Altos del Bosque.
- La central Punta Arenas (ubicada ahí mismo, Croacia 444) funciona como respaldo de Tres Puentes. Diesel. Cubre algunos sectores.
- Para recuperación de gases se considera una caldera por equipo.
- Implementación libera de consumo de gas. Autoridades se han preocupado de esto.
- Se estiman reservas de gas natural para 6 años.
- Exploraciones en desarrollo. Se evalúa la utilización de gases de rocas (fuente importante en EEUU y Argentina). Tecnología cara.
- A futuro, con ingreso de empresas privadas en las exploraciones, van a aumentar los precios.
- Carbón se ha estudiado, pero en la región nada compite con el gas natural.
- Methanex opera a un 40% de su capacidad actual (1 tren de 4 existentes).

### Reunión 3. Empresa Eléctrica de Magallanes.

Participantes:

- Jorge Reyes Álvarez Jefe Departamento de Estudios, Edelmag.
- Luis Velásquez Pérez Supervisor Departamento Estudios, Edelmag.
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 28/05/2012, 15:00

Lugar: Oficinas centrales de Edelmag, Croacia 444, Punta Arenas, Chile (Central Punta Arenas).

Contactos: [jreyes@edelmag.cl](mailto:jreyes@edelmag.cl); [lvelasquez@edelmag.cl](mailto:lvelasquez@edelmag.cl)

---

- Se presenta trabajo, se muestra alcance, se menciona avances y se aclaran dudas.
- Servidumbre eléctrica por detrás de hospital (más corto). Luis V. destaca que con esto se pierde el potencial de atención a industriales emplazados en la costa. Se dificulta atención a emplazamientos de la zona industrial (regimiento, planta faenadora).
- Se corrobora información de SEC con información privada. Validada.
- Trabajarán por su parte en el Hospital de Punta Arenas y el de Puerto Natales.
- Se menciona que se verá la forma de formalizar relación de cooperación.
- Inversiones en sistema de DH permiten valorizar calor.
- Se agenda visita a central Tres Puentes el día miércoles, 9:00 hrs.

#### Reunión 4. Secretaría Ministerial de Energía Región de Magallanes y Antártica chilena.

##### Participantes:

- Alfredo Olguín Álvarez Profesional, Seremi de energía
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 29/05/2012, 15:00

Lugar: Oficinas Secretaría Ministerial de Energía Región de Magallanes y Antártica Chilena, Lautaro Navarro 987, piso 2, Punta Arenas, Chile (Central Punta Arenas).

Contactos: [aolguin@minenergia.cl](mailto:aolguin@minenergia.cl), cel. 88392851.

- 
- El día 29/05 en la mañana el señor Olguín se reunió con gente de la Achee para el desarrollo del programa de recambio de calefactores en la ciudad de Punta Arenas.
  - Enap subsidia la tarifa. Se paga un precio del orden de 1,5 a 2 US\$/MBtu. Enap pone la diferencia del costo.
  - Existen dos subsidios a la tarifa del gas.
    - Uno a raíz del conflicto del gas, de aproximadamente \$11.000 prorrateados a lo largo del año. Este monto corresponde al incremento que iba a tener la tarifa del gas por concepto del IPC. Los beneficiarios son seleccionados luego de una inscripción previa. El beneficio lo entrega el gobierno regional. Este subsidio no debería existir en el alcance seleccionado (quizás en la Población cardenal Raúl Silva Henríquez). Se ofrecieron aproximadamente 15.000 subsidios, no estando todos cubiertos.
    - Municipalidad tiene subsidios existentes desde antes del conflicto del gas. Este subsidio cubre parte de los costos de servicios básicos de los beneficiarios (agua, electricidad y gas).
  - Actualmente el gas tiene un incremento de su valor de acuerdo con el IPC
  - Se mantendrá el precio del gas a la espera de la ley tarifaria. Enap absorbe el alza de costos.
  - Las reservas de gas natural se estiman en 6 años. Lo anterior considerando que se mantiene el consumo de aprox. 9.000.000 m<sup>3</sup>/día.
  - La CNE estudió la diversificación de la matriz energética, en particular del carbón.
  - Edelmag está preocupado puesto que no cuenta actualmente con tecnología para afrontar un cambio en la matriz. Además, en la actualidad se encuentra negociando su periodo tarifario con la CNE en un clima de incertidumbre.
  - El costo del gas provisto a Methanex es reservado. Negocian directamente con ENAP.
  - El valor del gas natural es muy bajo en la región. El precio internacional ronda entre 6 a 7 US\$/MBtu.
  - ENAP es el encargado del transporte del gas natural. Desde el centro de distribución se provee del combustible a la ciudad (por Gasco).
  - Medidas de mitigación del consumo de GN:

- Recambio de calefactores (presupuesto público más aporte de los beneficiarios).
  - Transferencia tecnológica (recambio de ampollitas en conjunto con Methanex. Alcance de 7.500 hogares, recambio de 60.000 ampollitas).
  - Acondicionamiento de envolvente en hogares (por el Minvu). El año 2009 se entregaron 20 subsidios para el año 2010, el 2010 se entregaron 1.000 subsidios para el 2011 y el 2011 se entregaron 1.000 subsidios para el 2012 (ya entregados).
- Se percibe la implementación de la Calefacción distrital como algo potente.
  - Interesa conocer el potencial de la calefacción distrital en relación al total de la ciudad.
  - En la población CRSH existen construcciones posteriores al año 2007 pero que no cumplen normativa térmica.
  - Actualmente el Serviu fiscaliza el cumplimiento de la normativa.
  - La vivienda tipo debería ser más bien considerada como una construcción de madera recubierta de cinc (en techo y muros). Albañilería es escasa.
  - Algunas viviendas consideradas eficientes cuentan con doble vidriado.
  - El presupuesto para el mejoramiento de la envolvente de las viviendas es de 97 UF por cada una (aprox. \$1.700.000).
  - El proceso de mejoramiento consiste en una evaluación preliminar por parte del Serviu de la vivienda beneficiada. Se estudia que es lo mejor que se puede hacer en cada vivienda dado el presupuesto existente. La solución es a la medida del beneficiario. Se pondera importancia de las mejoras a realizar (por ejemplo, se evalúa mejor incorporar aislación a la envolvente que al piso. Ventanas tienen un alto puntaje)
  - La calefacción distrital ha estado dando vueltas hace un tiempo.
  - En el CERRE (Centro de Estudios de los Recursos Energéticos, de la Universidad de Magallanes) se ha conversado sobre probar en comunas de la región como planes piloto.
  - Falta estimar el ahorro que se produciría en dichos pilotos. ¿Son factibles?, ¿ampliaciones?, ¿Quiénes?
  - El sector del humedal no se toca
  - El sector del condominio Altos del Bosque es susceptible de captar ampliaciones por crecimiento urbano.
  - La proyección de la ciudad es hacia el sur y al norte de Río Seco.
  - En la costa se encuentran pesqueras e instalaciones de Asmar.
  - Existencia de malas prácticas al momento de calefaccionar hogares. Se utiliza cocinas (en la región se refieren a las cocinas como “estufas”) para calefaccionar dejando abierto el horno.

- El termo a GN es predominante en la región. El calefón está presente en las viviendas nuevas. Se estima que el 60% del universo es termo y el 40% es calefón.
- El recambio de calentadores a GN por radiadores no debería ser tema para la gente. Con la instalación de radiadores aumenta confort de viviendas al poderse instalar en las habitaciones que las actuales (en general la gente cuenta con un único calentador por vivienda).
- Existe interés en el desarrollo de un piloto de calefacción distrital (alguna localidad)
- Posibles encargados de la gestión del cobro, Edelmag y Gasco (cuentan con infraestructura, cuentan con personal de registro de consumos, etc.).
- Existe problemas en comunidades en lo referente a ponerse de acuerdo con las decisiones energéticas. Se evita la existencia de bienes comunes. Dificultad en acuerdos.
- Contactos:
  - Melissa Cárdenas (61-714406), Minvu.
  - Profesor Humberto Vidal (61-207182), CERE de Umag.
- Se hace entrega del folleto “Guía para el ahorro de gas en la región de Magallanes”, desarrollado por el Ministerio de Energía y orientado a disminuir el consumo residencial de gas natural mediante prácticas de eficiencia energética cotidianas.



## Reunión 6. Central Tres Puentes, Edelmag.

### Participantes:

- Luis Velásquez Pérez Supervisor Departamento Estudios, Edelmag.
- Víctor Curguán Cárcamo Ingeniero, Edelmag.
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 30/05/2012, 9:00

Lugar: Central Tres Puentes, Barrio Industrial, Punta Arenas, Chile.

---

- Turbina Hitachi es la más antigua y a la vez la menos eficiente.
- Turbinas más utilizadas:
  - 7), Solar Titan, 13,7 [MW]
  - 9), Solar Titan 130, 15 [MW]
- Existe estanque de reserva de Diesel para 3 horas de funcionamiento.
- Generador a gas (motor Caterpillar) se usa para horarios de punta. Generadores Diesel nunca se usan.
- Tendido de alta tensión hasta central Punta Arenas (Croacia 444).
- Mantenición de turbinas cada 4.000 horas aproximadamente. Finning es el encargado.
- En el estudio de aprovechamiento de gases de escape desarrollado por Edelmag se considera la incorporación de calderas recuperadoras en las turbinas 7 y 9 (las más usadas). Se plantea la instalación de la turbina a vapor en el terreno del frente de la central Tres Puentes (propiedad de Edelmag también).
- Cada 30.000 horas de operación se recomienda cambio de turbina.
- Información de la CNE con respecto a unidades generadores se encuentra al día.
- Turbina Hitachi (fabricada en 1975) presenta problemas de emisión de NOx. No ocurriría en el caso de implementarse cogeneración.
- Turbinas GE10, Titan y Mars no presentan problemas de NOx por ahora. Incorporándose el ciclo combinado podría eventualmente haber problemas.
- Al momento de la visita se generaban 36[MW] (unidades en operación: Hitachi, GE10 y Mars).
- Ayer se generaba 40,1[MW].
- Demanda máxima de potencia eléctrica para el año 2011: 41,3[MW] (ocurre en Junio)
- Demanda mínima de potencia eléctrica para el año 2011: 12,3[MW] (17 de Enero, 6:00 hrs.).
- Demanda máxima de potencia estimada para el año 2012: 41,5[MW]
- Demanda mínima de potencia estimada para el año 2012: 12,5[MW]
- Estudios de aprovechamiento de gases desarrollados por consultora suiza.

- Se recomienda no mezclar ciclo combinado con calefacción distrital en el estudio. Se manifiesta que ambos proyectos no deberían ser excluyentes.

## Reunión 7. Hospital regional de Magallanes.

### Participantes:

- Marco Alvarado Jefe de mantención
- José I. Seminario Estudiante memorista

Fecha: 01/06/2012, 16:00

Lugar: Oficinas del departamento de mantención, Hospital Regional Dr. Lautaro Navarro Avaria, Av. Los Flamencos 01364, Punta Arenas, Chile.

Contactos: [marcoalvaradom@gmail.com](mailto:marcoalvaradom@gmail.com), cel. 9510640

---

- Marco Alvarado es el encargado en la gestión de la EE en el hospital.
- Consumo de GN en,
  - Calderas generadoras de agua caliente (acumulada en estanques de agua caliente)
  - Laboratorios
  - Cocina
- Se hacen diferencias operacionales entre verano e invierno.
- Interconexiones entre edificios son más frías por diseño.
- No se sabe si envolvente del hospital cumple normativa de porcentaje máximo de ventanales de fachada.
- Materialidad de envolvente cumple la normativa térmica. Se construyó usando el mejor termo panel del mercado.
- Las condiciones de viento no fueron consideradas en el proyecto.
- Al momento de la visita se encontraban en operación dos calderas, las que generalmente pueden operar todo el año.
- En verano puede llegarse a ocupar una única caldera.
- En invierno se puede llegar a encender una tercera caldera.
- Hace 45 días se realizó mantenimiento a las calderas (ajuste, calibración y limpieza). Esto es periódico. Se controlan gases.
- Calefacción general mediante radiadores.
- Acondicionamiento en algunos sectores puede realizarse mediante unidades manejadoras. UTI y UCI sólo son calefaccionadas exclusivamente con inyección de aire. Es por lo tanto un sistema de calefacción diferenciado.
- Se estiman unos 2.000 radiadores en el hospital. Se considera que eventualmente podrían no estar ubicados en los lugares más idóneos.
- Termostatos ubicados en ventanas, puede inducir errores.
- El agua de red circula a una temperatura de aproximadamente 60° C. Se considera una caída de temperatura por pérdidas de aprox. 15° C. Lo anterior ocurre presumiblemente por fallas en la aislación del agua recirculada.
- ACS almacenada a 50° C.

- En proyecto se encuentra la instalación de un sistema de calentamiento de agua necesaria. Empresa “Heat Work Energy Tracking”. Lo anterior mediante la instalación de un *by pass* a los cilindros acumuladores de ACS. Incorporación de intercambiadores de calor para aumento en rendimiento de calderas.

## **Anexo G: Evaluación económica**

**Tabla G.1: Flujo de caja escenario 1, parte 1.**

Año:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		1.326.614	1.333.247	1.339.914	1.346.613	1.353.346	1.360.113	1.366.914	1.373.748	1.380.617	1.387.520
Costos variables		556.839	559.623	562.421	565.233	568.060	570.900	573.754	576.623	579.506	582.404
Costos fijos		112.058	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
Gastos no desembolsables		920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290
Intereses											
Pérdida de ejercicio anterior			-262.573	-521.857	-777.274	-1.028.802	-1.276.424	-1.520.120	-1.759.869	-1.995.653	-2.227.451
Utilidades antes de impuestos		-262.573	-521.857	-777.274	-1.028.802	-1.276.424	-1.520.120	-1.759.869	-1.995.653	-2.227.451	-2.455.243
Impuestos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidades después de impuestos		-262.573	-521.857	-777.274	-1.028.802	-1.276.424	-1.520.120	-1.759.869	-1.995.653	-2.227.451	-2.455.243
Ajuste por gastos no desembolsables		920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290
Pérdida de ejercicio anterior			262.573	521.857	777.274	1.028.802	1.276.424	1.520.120	1.759.869	1.995.653	2.227.451
Flujo de caja operacional		657.717	661.005	664.874	668.761	672.668	676.594	680.540	684.506	688.492	692.497
Inversión	-22.530.806										
Capital de trabajo											
Recuperación capital trabajo											
Préstamos											
Amortizaciones											
Flujo de capitales	-22.530.806	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de caja	-22.530.806	657.717	661.005	664.874	668.761	672.668	676.594	680.540	684.506	688.492	692.497

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla G.2: Flujo de caja escenario 1, parte 2.**

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.394.458	1.401.430	1.408.437	1.415.479	1.422.557	1.429.669	1.436.818	1.444.002	1.451.222	1.458.478
585.316	588.242	591.184	594.139	597.110	600.096	603.096	606.112	609.142	612.188
112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290
-2.455.243	-2.679.010	-2.898.731	-3.114.386	-3.325.955	-3.533.417	-3.736.752	-3.935.940	-4.130.958	-4.321.787
-2.679.010	-2.898.731	-3.114.386	-3.325.955	-3.533.417	-3.736.752	-3.935.940	-4.130.958	-4.321.787	-4.508.406
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.679.010	-2.898.731	-3.114.386	-3.325.955	-3.533.417	-3.736.752	-3.935.940	-4.130.958	-4.321.787	-4.508.406
920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290	920.290
2.455.243	2.679.010	2.898.731	3.114.386	3.325.955	3.533.417	3.736.752	3.935.940	4.130.958	4.321.787
696.523	700.569	704.635	708.721	712.828	716.955	721.103	725.271	729.461	733.671
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
696.523	700.569	704.635	708.721	712.828	716.955	721.103	725.271	729.461	733.671

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla G.3: Flujo de caja escenario 2, parte 1.**

Año:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		1.201.362	1.207.369	1.213.406	1.219.473	1.225.570	1.231.698	1.237.857	1.244.046	1.250.266	1.256.518
Costos variables		549.351	552.098	554.859	557.633	560.421	563.223	566.039	568.869	571.714	574.572
Costos fijos		112.058	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
Depreciación		709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
Intereses											
Pérdida de ejercicio anterior			-169.278	-335.856	-499.157	-659.166	-815.866	-969.240	-1.119.272	-1.265.944	-1.409.241
Utilidades antes de impuestos		-169.278	-335.856	-499.157	-659.166	-815.866	-969.240	-1.119.272	-1.265.944	-1.409.241	-1.549.145
Impuestos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidades después de impuestos		-169.278	-335.856	-499.157	-659.166	-815.866	-969.240	-1.119.272	-1.265.944	-1.409.241	-1.549.145
Depreciación		709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
Pérdida de ejercicio anterior			169.278	335.856	499.157	659.166	815.866	969.240	1.119.272	1.265.944	1.409.241
Flujo de caja operacional		539.952	542.652	545.929	549.221	552.531	555.856	559.199	562.558	565.934	569.326
Inversión	-18.309.614										
Capital de trabajo											
Recuperación capital trabajo											
Préstamos											
Amortizaciones											
Flujo de capitales	-18.309.614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de caja	-18.309.614	539.952	542.652	545.929	549.221	552.531	555.856	559.199	562.558	565.934	569.326

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla G.4: Flujo de caja escenario 2, parte 2.**

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.262.800	1.269.114	1.275.460	1.281.837	1.288.246	1.294.687	1.301.161	1.307.667	1.314.205	1.320.776
577.445	580.332	583.234	586.150	589.081	592.026	594.987	597.962	600.951	603.956
112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
-1.549.145	-1.685.639	-1.818.706	-1.948.330	-2.074.492	-2.197.176	-2.316.364	-2.432.039	-2.544.183	-2.652.778
-1.685.639	-1.818.706	-1.948.330	-2.074.492	-2.197.176	-2.316.364	-2.432.039	-2.544.183	-2.652.778	-2.757.807
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.685.639	-1.818.706	-1.948.330	-2.074.492	-2.197.176	-2.316.364	-2.432.039	-2.544.183	-2.652.778	-2.757.807
709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
1.549.145	1.685.639	1.818.706	1.948.330	2.074.492	2.197.176	2.316.364	2.432.039	2.544.183	2.652.778
572.736	576.163	579.607	583.068	586.546	590.042	593.555	597.086	600.635	604.201
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
572.736	576.163	579.607	583.068	586.546	590.042	593.555	597.086	600.635	604.201

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla G.5: Flujo de caja escenario 3, parte 1.**

Año:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		1.213.887	1.219.957	1.226.057	1.232.187	1.238.348	1.244.540	1.250.762	1.257.016	1.263.301	1.269.618
Costos variables		550.100	552.851	555.615	558.393	561.185	563.991	566.811	569.645	572.493	575.355
Costos fijos		112.058	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
Depreciación		709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
Intereses											
Pérdida de ejercicio anterior			-157.501	-312.244	-463.651	-611.706	-756.392	-897.692	-1.035.590	-1.170.067	-1.301.108
Utilidades antes de impuestos		-157.501	-312.244	-463.651	-611.706	-756.392	-897.692	-1.035.590	-1.170.067	-1.301.108	-1.428.695
Impuestos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidades después de impuestos		-157.501	-312.244	-463.651	-611.706	-756.392	-897.692	-1.035.590	-1.170.067	-1.301.108	-1.428.695
Depreciación		709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
Pérdida de ejercicio anterior			157.501	312.244	463.651	611.706	756.392	897.692	1.035.590	1.170.067	1.301.108
Flujo de caja operacional		551.729	554.488	557.823	561.175	564.544	567.930	571.333	574.753	578.189	581.643
Inversión	-18.309.614										
Capital de trabajo											
Recuperación capital trabajo											
Préstamos											
Amortizaciones											
Flujo de capitales	-18.309.614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de caja	-18.309.614	551.729	554.488	557.823	561.175	564.544	567.930	571.333	574.753	578.189	581.643

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla G.6: Flujo de caja escenario 3, parte 2.**

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.275.966	1.282.346	1.288.757	1.295.201	1.301.677	1.308.186	1.314.727	1.321.300	1.327.907	1.334.546
578.232	581.123	584.029	586.949	589.884	592.833	595.798	598.777	601.770	604.779
112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619	112.619
709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
-124.115	-120.627	-117.121	-113.597	-110.056	-106.497	-102.920	-99.325	-95.713	-92.082
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-124.115	-120.627	-117.121	-113.597	-110.056	-106.497	-102.920	-99.325	-95.713	-92.082
709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230	709.230
585.115	588.603	592.110	595.633	599.174	602.733	606.310	609.905	613.517	617.148
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
585.115	588.603	592.110	595.633	599.174	602.733	606.310	609.905	613.517	617.148

(Fuente: Elaboración propia)