

# TABLA DE CONTENIDO

---

RESUMEN .....	ii
Agradecimientos.....	iv
1 Introducción .....	1
1.1 Formulación del estudio propuesto .....	1
1.2 Área de estudio .....	7
1.2.1 Ubicación y vías de acceso .....	7
1.2.2 Clima .....	8
1.3 Objetivos .....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Hipótesis de trabajo.....	10
1.5 Uso directo de la geotermia en Chile .....	10
2 Antecedentes generales .....	12
2.1 Gravimetría de la zona de estudio .....	14
2.2 Geología.....	16
2.2.1 Rocas estratificadas .....	17
2.2.2 Depósitos no consolidados.....	17
2.3 Recursos de agua subterránea .....	18
2.3.1 Definición de acuíferos y sus propiedades (Pérez <i>et al.</i> , 2014).....	21
2.4 Propiedades hidráulicas de interés .....	22
2.4.1 Porosidad .....	22
2.4.2 Conductividad hidráulica.....	23
2.4.3 Ley de Darcy.....	23
2.5 Pruebas de bombeo .....	24
2.5.1 Transmisividad.....	25
2.5.2 Abatimiento.....	25
2.5.3 Ensayos de Bombeo.....	26
2.6 Temperatura en aguas subterráneas .....	26
2.7 Comportamiento termal del suelo. ....	27
2.7.1 Difusividad termal .....	28
2.8 Plan regulador.....	29
2.8.1 Coeficiente de ocupación de suelo.....	29
2.8.2 Edificaciones.....	30

2.8.3	Equipamientos.....	30
2.9	Bombas de calor geotermales.....	30
2.9.1	Bomba de calor.....	30
2.9.2	Sistema de distribución de calefacción/enfriamiento .....	31
2.9.3	Sistemas de conexión a tierra.....	32
2.10	Coeficiente de Rendimiento (COP).....	35
2.11	Limitantes.....	36
2.11.1	Limitantes económicas .....	36
2.11.2	Limitantes legales.....	37
3	Metodología.....	40
3.1	Terreno.....	40
3.1.1	Trabajo previo.....	40
3.1.2	Trabajo en terreno .....	40
3.2	Propiedades hidrogeológicas .....	40
3.2.1	Niveles estáticos y cotas hidráulicas .....	41
3.2.2	Distribución de sedimentos.....	41
3.2.3	Conductividad hidráulica y transmisividad .....	42
3.2.4	Dirección del flujo de aguas subterráneas, gradiente hidráulico y velocidad real. ....	42
3.2.5	Temperatura del agua subterránea .....	43
3.3	Propiedades térmicas del suelo .....	43
3.3.1	Parámetros termales .....	43
3.3.2	Potencial de extracción de calor específico.....	43
3.3.3	Estimación de la temperatura del suelo.....	44
3.4	Demanda térmica.....	45
3.5	Sistemas de información geográfica (SIG).....	46
3.6	Sistemas horizontales cerrados .....	46
3.7	Sistemas verticales abiertos.....	47
3.8	Sistemas verticales cerrados .....	48
3.9	Herramienta de decisión .....	49
4	Resultados.....	50
4.1	Propiedades hidrogeológicas .....	50
4.1.1	Base de datos.....	50
4.1.2	Perfiles geológicos esquemáticos.....	50
4.1.3	Niveles estáticos.....	56
4.1.4	Cotas hidráulicas .....	56

4.1.5	Abatimiento y caudales.....	61
4.1.6	Transmisividad y conductividad hidráulica.....	61
4.1.7	Velocidad real.....	66
4.1.8	Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica de aguas subterráneas.....	66
4.2	Zonificación de la ciudad de Osorno.....	70
4.2.1	Definición de tipologías de vivienda.....	72
4.2.2	Correlación de tipologías.....	73
4.2.3	Determinación de la demanda energética.....	74
4.3	Sistemas horizontales cerrados.....	78
4.3.1	Propiedades térmicas del suelo.....	78
4.3.2	Determinación del COP.....	80
4.3.3	Determinación del potencial de extracción del suelo.....	80
4.3.4	Superficie de intercambiadores horizontales.....	81
4.4	Sistemas verticales abiertos.....	83
4.4.1	Determinación del COP.....	83
4.4.2	Determinación de caudales y potencias obtenidas.....	84
4.4.3	Determinación de la potencia de extracción de calor del suelo y la potencia generada por una GWHP.....	84
4.4.4	Profundidad de perforación.....	85
4.5	Sistemas verticales cerrados.....	87
4.5.1	Determinación del potencial de extracción específico de calor (sHE).....	87
4.6	Evaluación de bombas de calor en Osorno.....	89
4.6.1	Sistemas horizontales cerrados.....	89
4.6.2	Sistemas verticales abiertos.....	89
4.6.3	Sistema vertical cerrado.....	90
4.7	Herramienta de decisión.....	94
5	Discusiones.....	98
6	Conclusiones.....	108
7	Bibliografía.....	110
8	Anexos.....	114
	Anexo 1: Uso residencial del suelo según PRC de Osorno.....	114
	Anexo 2: Industria chilena de bombas de calor.....	115
	Anexo 3: Materialidad de tipologías de vivienda.....	117
	Anexo 4: Distribución socioeconómica.....	119
	Anexo 5: Base de datos hidrogeológica.....	121
	Anexo 6: Base de datos de temperaturas medias diarias.....	125

Anexo 7: Estratigrafía de pozos profundos. ....	134
Anexo 8: Desviación estándar de la interpolación de temperaturas. ....	173
Anexo 9: Cotizaciones de bombas de calor .....	174