

Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes generales.....	1
1.2	Motivación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
1.4	Alcances.....	2
2	Antecedentes.....	3
2.1	Bombas de calor	3
2.1.1	Eficiencia de una bomba de calor.....	4
2.1.2	Componentes de una bomba de calor.....	4
2.2	Bombas de calor geotérmicas.....	5
2.2.1	Tipos de bombas de calor geotérmicas.....	5
2.3	Sistemas de agua caliente sanitaria.....	9
2.3.1	Componentes de un sistema de agua caliente.....	9
2.3.2	Diseño del sistema	10
2.3.3	Calentadores de agua geotérmicos (Heat Pump Water Heaters – HPWH).....	10
2.4	Demanda de agua potable	11
2.4.1	Consumo de agua caliente	12
2.4.2	Legionella pneumophila.....	12
2.5	Caracterización de la zona.....	14
2.5.1	Descripción del sistema actual de agua potable.....	16
3	Metodología.....	17
4	Resultados.....	19
4.1	Cálculo de demanda de agua caliente sanitaria.....	19
4.1.1	Flujo de agua demandada	19
4.1.2	Potencia demandada.....	20
4.2	Potencia suministrada por fuente geotermal	20
4.3	Cálculo de intercambiadores de calor	21
4.3.1	Intercambiador del circuito secundario (IC-2).....	23
4.3.2	Intercambiador de calor primario (IC-1).....	24
4.4	Resultados de optimización	24

4.4.1	Intercambiador de calor secundario (IC-2)	25
4.4.2	Intercambiador de calor primario (IC-1)	26
4.4.3	Validación de intercambiadores de calor	29
4.4.4	Resumen de resultados termodinámicos.....	29
4.5	Dimensionamiento de equipos principales	30
4.5.1	Bomba de calor geotérmica	30
4.5.2	Intercambiadores de calor	32
4.5.3	Estanques de almacenamiento.....	33
4.6	Dimensionamiento de equipos auxiliares e insumos.....	36
4.6.1	Selección de tuberías y aislantes	36
4.6.2	Selección de bombas y válvulas.....	39
4.7	Evaluación económica	42
4.7.1	Costos de inversión	42
4.7.2	Costos de operación y mantenimiento.....	48
4.7.3	Costos unitarios	51
4.7.4	Factibilidad económica	53
4.8	Evaluación ambiental	56
4.8.1	Factor de emisión equivalente por uso de energía eléctrica.....	56
4.8.2	Factor de emisión de calentador instantáneo	56
4.8.3	Balance de emisiones.....	57
5	Conclusiones	59
6	Bibliografía.....	61
Anexos	66
Anexo A.	Análisis físico-químico del agua en la población El guindal, Machalí.	66
Anexo B.	Especificaciones técnicas de bomba de calor Dimplex WI 65TU	69
Anexo C.	Especificaciones técnicas intercambiador de calor Alfa Laval – AQ2L	73
Anexo D.	Especificaciones técnicas intercambiador de calor Alfa Laval – AQ1	75
Anexo E.	Especificaciones técnicas acumulador LAPESA CV-500 R.....	77
Anexo F.	Extracto de datos Explorador Solar – Población El Guindal, Machalí.....	79
Anexo G.	Flujo de caja caso base	81
Anexo H	Flujo de caja caso pesimista	82
Anexo I	Flujo de caja caso medio	83
Anexo J	Flujo de caja caso optimista	84

Índice de tablas

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de colección vertical y horizontal. Fuente: Elaboración propia.	7
Tabla 2-2: Ventajas y desventajas de colección de energía mediante agua subterránea. Fuente: Elaboración propia.	8
Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de colección de energía mediante agua superficial. Fuente: Elaboración propia.	8
Tabla 2-4: Sectores residenciales que consumen más agua en Chile. Fuente: Adaptado de [11].	11
Tabla 2-5: Sectores residenciales que menos consumen agua en Chile. Fuente: Adaptado de [11].	11
Tabla 2-6: Horarios de uso de agua caliente supuesto. Fuente: Elaboración propia.	12
Tabla 4-1: Resumen de parámetros de demanda. Fuente: elaboración propia.....	20
Tabla 4-2: Datos útiles para intercambiadores de calor de placa. Fuente: modificado de [26].	22
Tabla 4-3: Resumen de optimización para el intercambiador de calor de placas del circuito secundario. Fuente: elaboración propia.	25
Tabla 4-4: Resumen de primera optimización para el intercambiador de calor primario. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 4-5: Resumen de optimización para el intercambiador de calor de placas del circuito primario. Fuente: elaboración propia.....	28
Tabla 4-6: Validación de intercambiadores de calor. Fuente: elaboración propia.	29
Tabla 4-7: Resumen de resultados parciales. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 4-8: Resumen de características calculadas de ambos intercambiadores de calor de placas. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 4-9: Performance de la bomba de calor WI 65TU según diferentes condiciones de temperatura. Fuente: Adaptado de Anexo B.	31
Tabla 4-10: Especificaciones técnicas de la bomba de pozo profundo ubicada en el pozo de producción. Fuente: adaptado de Informe de cotización del comité de agua potable.	32
Tabla 4-11: Resumen de resultados para pérdida de potencia bajo dos condiciones de temperatura exterior. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 4-12: Dimensión de tuberías del sistema. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 4-13: Bombas seleccionadas según caudal y presión de trabajo. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 4-14: Resumen de válvulas a utilizar en el proyecto, su ubicación y cantidad. Fuente: elaboración propia.....	41
Tabla 4-15: Resumen de costos de equipos y bombas (Intercambiadores de calor, bombas de calor, estanques de almacenamiento y bombas hidráulicas). Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 4-16: Resumen de costos de cañerías y aislación. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 4-17: Resumen de válvulas cotizadas. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 4-18: Resumen de costos de instalación. Fuente: Elaboración propia.	46

Tabla 4-19: Resumen de costos de inversión del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 4-20: Resumen de cálculo de energía consumida por cada equipo, con los costos respectivos de cada caso. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 4-21: Resumen de costos de mantención del sistema. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 4-22: Resumen de costos de operación y mantenimiento para las 15 casas. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 4-23: Costos de capital unitarios. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 4-24: Costos de operación unitarios. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 4-25: Indicadores económicos del proyecto, con un horizonte de evaluación de 15 años. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 4-26: Definición de escenarios de evaluación económica. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 4-27: Resumen de resultados de los tres escenarios analizados. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 4-28: Resultados del balance molar de la ecuación de combustión del GLP. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 4-29: Balance de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Fuente: Elaboración propia.	58

Índice de ilustraciones

Figura 2-1: Esquema simplificado de una bomba de calor. Fuente de calor en azul y sumidero de calor en rojo. Fuente: Elaboración propia.	3
Figura 2-2: Circuito cerrado de una bomba de calor. Fuente: adaptado de [6].	4
Figura 2-3: Sistema de captación vertical. Fuente: [8].	6
Figura 2-4: Sistema de captación horizontal. Fuente: adaptado de [9].	6
Figura 2-5: Ubicación de la comuna de Machalí, al oriente de Rancagua. Fuente: Google earth.....	15
Figura 2-6: Ubicación de la población el Guindal. Fuente: Google earth.	15
Figura 2-7: Layout de la instalación actual. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 3-1: Diagrama de flujo de la metodología. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 4-1: Esquema básico de instalación. Fuente: elaboración propia.	21
Figura 4-2: Análisis del Coeficiente de Performance para la bomba de calor geotérmica en función del % en peso de glicol en el circuito secundario. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 4-3: Análisis del Coeficiente de Performance para la bomba de calor geotérmica en función de los grados que se le sustrae al agua geotermal. Fuente: elaboración propia.	27
Figura 4-4: Análisis del Coeficiente de Performance para la bomba de calor geotérmica en función del % en peso de glicol en el circuito primario. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 4-5: Potencia y coeficiente de performance de la bomba de calor en función de la temperatura de suministro. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 4-6: Gráfico de pérdida de potencia del estanque en función del espesor del aislante. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 4-7: Vista superior de la ubicación de las 15 casas (C1, C2,..., C15), la bomba de calor geotérmica (BCG) y el intercambiador de calor primario (IC-1). Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 4-8: Líneas de suministro y retorno del sistema de distribución de agua caliente. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 4-9: Disposición de bombas hidráulicas y válvulas del sistema. Fuente: elaboración propia.....	39
Figura 4-10: Porcentaje de costos de equipos respecto del subtotal de la inversión de los mismos. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 4-11: Porcentaje de costos de insumos respecto del subtotal de la inversión de los mismos. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 4-12: Distribución de costos de inversión del proyecto de agua caliente sanitaria para la población El Guindal de Machalí. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 4-13: Distribución de consumo eléctrico según equipo. Fuente: Elaboración propia.	49

