

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes básicos | 1 |
| 1.2. Motivación | 2 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.4. Alcances | 3 |
| 2. Revisión Bibliográfica | 4 |
| 2.1. Viabilidad de sistemas híbridos de bombas de calor geotérmicas con colectores solares térmicos | 4 |
| 2.2. Evaluación del desempeño y optimización de un sistema híbrido de calefacción | 6 |
| 2.3. Aumento del COP de una bomba de calor geotérmica en una vivienda a través del uso de colectores solares térmicos | 8 |
| 2.4. Estudio del diseño de un sistema de bomba de calor geotérmica asistido por energía solar | 9 |
| 2.5. Estudios realizados en Chile | 11 |
| 3. Antecedentes | 15 |
| 3.1. Demanda térmica de la vivienda | 15 |
| 3.1.1. Datos climatológicos | 15 |
| 3.1.2. Temperatura del subsuelo | 17 |
| 3.1.3. Intercambio de calor | 18 |
| 3.1.4. Balance energético | 24 |
| 3.1.5. Obtención de demanda térmica | 25 |
| 3.2. Diseño hidráulico | 25 |
| 3.2.1. Pérdidas de carga en tuberías | 25 |
| 3.2.2. Dimensionamiento vaso de expansión | 29 |
| 3.2.3. Aislación de tuberías | 30 |
| 3.3. Bombas de calor | 30 |
| 3.3.1. Fluidos refrigerantes | 34 |
| 3.3.2. Bombas de calor geotérmicas | 34 |
| 3.4. Intercambiador de calor geotérmico | 36 |
| 3.4.1. Intercambiadores de calor geotérmicos horizontales | 37 |
| 3.4.2. Fundamentos térmicos del diseño de intercambiadores horizontales | 42 |
| 3.5. Sistema de distribución | 49 |
| 3.5.1. Fundamentos térmicos de diseño y cálculo de piso radiante | 50 |
| 3.6. Colectores solares | 54 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.6.1. | Fundamentos térmicos de diseño del sistema solar térmico | 56 |
| 3.7. | Caldera a Gas | 63 |
| 3.7.1. | Aspectos térmicos del sistema de calefacción por caldera a gas | 65 |
| 3.8. | Evaluación del coeficiente de desempeño estacional de un sistema de calefacción | 67 |
| 3.9. | Análisis económico: Análisis de Costos del Ciclo de Vida | 67 |
| 4. | Metodología | 72 |
| 4.1. | Recopilación bibliográfica para el desarrollo del trabajo | 72 |
| 4.2. | Definición de localidad de estudio | 72 |
| 4.3. | Variables climáticas | 72 |
| 4.3.1. | Software TRNSYS | 73 |
| 4.3.2. | Información climática | 74 |
| 4.4. | Determinación de la vivienda | 74 |
| 4.5. | Modelación de la vivienda | 76 |
| 4.6. | Determinación de la demanda de calefacción transiente de la vivienda | 79 |
| 4.6.1. | Temperatura de requerimiento | 80 |
| 4.7. | Selección y modelación de la bomba de calor | 81 |
| 4.7.1. | Selección del equipo | 81 |
| 4.7.2. | Modelación de la bomba de calor | 83 |
| 4.8. | Diseño y modelación de sistema de captación geotérmico | 85 |
| 4.8.1. | Criterios de diseño | 85 |
| 4.8.2. | Cálculo del largo del colector geotérmico y datos de diseño del sistema de captación | 86 |
| 4.8.3. | Equipos considerados e instalación | 90 |
| 4.8.4. | Modelación del sistema de captación geotérmico | 92 |
| 4.9. | Diseño y modelación de sistema de distribución | 93 |
| 4.9.1. | Criterios de diseño | 93 |
| 4.9.2. | Diseño del piso radiante | 94 |
| 4.9.3. | Equipos considerados e instalación | 95 |
| 4.9.4. | Modelación del piso radiante | 98 |
| 4.10. | Diseño y modelación del sistema solar | 99 |
| 4.10.1. | Criterios de diseño | 99 |
| 4.10.2. | Diseño del sistema | 100 |
| 4.10.3. | Equipos considerados e instalación | 101 |
| 4.10.4. | Modelación del sistema solar | 102 |
| 4.11. | Diseño y modelación del sistema convencional | 104 |
| 4.11.1. | Criterios de diseño | 104 |
| 4.11.2. | Diseño del sistema | 104 |
| 4.11.3. | Equipos constituyentes e instalación | 105 |
| 4.11.4. | Modelación del sistema convencional | 105 |
| 4.12. | Sistemas de calefacción modelados | 106 |
| 4.13. | Análisis de sensibilidad | 111 |
| 4.13.1. | Datos de partida y variables | 111 |
| 4.14. | Evaluación técnica-económica | 118 |
| 5. | Análisis de Resultados | 122 |
| 5.1. | Condiciones climáticas en Melipilla | 122 |

| | |
|--|------------|
| 5.2. Demanda de calefacción | 126 |
| 5.3. Resultados sistemas de diseño | 129 |
| 5.4. Análisis de sensibilidad y evaluación técnica | 142 |
| 5.4.1. Coeficiente de desempeño de los sistemas diseñados | 142 |
| 5.4.2. Comparación del confort térmico entre los distintos sistemas diseñados | 145 |
| 5.4.3. Ahorro consumo de energía de sistemas híbridos y no híbridos con respecto a caso convencional | 152 |
| 5.5. Análisis de sensibilidad y evaluación económica | 155 |
| 5.5.1. Inversión | 155 |
| 5.5.2. Costo anual por consumo de energía | 159 |
| 5.5.3. Costo anual por mantenciones | 161 |
| 5.5.4. Ahorros totales de costos de operación respecto a caso base | 164 |
| 5.5.5. Cálculo del costo de ciclo de vida (LCC) | 166 |
| 5.5.6. Ahorro neto de los sistemas diseñados con respecto a caso base | 169 |
| 5.5.7. Relación entre ahorro e inversión de todos los sistemas diseñados con respecto al sistema convencional | 171 |
| 5.5.8. Relación ahorro/inversión versus porcentaje de confort térmico de siste- mas híbrido y geotérmico no híbrido con respecto a sistema convencional | 173 |
| 6. Discusión y Conclusiones | 174 |
| Bibliografía | 180 |
| Anexos | 186 |
| A. Cálculo de radiación en superficie inclinada | 187 |
| B. Cálculo de resistencia térmica de intercambiadores horizontales | 191 |
| C. Selección de diámetro y fluido anticongelante para colectores geotérmicos | 194 |
| D. Dimensionamiento de los espesores de las tuberías del sistema de calefac- ción | 196 |
| E. Matriz de desempeño bomba de calor | 198 |
| F. Cotizaciones de los insumos de los sistemas | 200 |