

Índice

Resumen	ix
1. Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos de la tesis	9
1.3 Estructura de la memoria	10
2. Antecedentes y Estado del Arte	13
2.1 Principios básicos de los sistemas de bomba de calor acoplada al terreno	13
2.1.1 Tipologías de sistemas de intercambiador de calor enterrado	19
2.1.1.1 Intercambiador de calor enterrado vertical	21
2.2 Diseño de sistemas de intercambiador de calor enterrado	

vertical	23
2.2.1 Condiciones climatológicas	24
2.2.2 Perfil energético del edificio	24
2.2.3 Condiciones geológicas e hidrogeológicas	25
2.2.4 Características térmicas del subsuelo	26
2.2.5 Propiedades hidráulicas	27
2.2.6 Tipología del intercambiador enterrado vertical	29
2.3 Programas de diseño y modelado de sistemas de bomba de calor acoplada al terreno	29
2.3.1 Herramientas de diseño y modelado de un intercambiador de calor vertical	31
2.3.1.1 Modelos de diseño de un intercambiador de calor vertical	31
2.3.1.2 Herramientas informáticas analíticas y seminuméricas	35
2.3.1.3 Herramientas informáticas de modelado numérico	37
2.3.1.4 TRNSYS (Transient Systems Simulation Program)	39
2.4 Revisión bibliográfica	41
3. Diseño y Ejecución de la Instalación	
Experimental	49
3.1 Planteamiento del proyecto GeoCool	49
3.2 Diseño de la instalación experimental	51

3.2.1	Modelado térmico del edificio	53
3.2.2	Bomba de calor agua-agua	55
3.2.3	Diseño del intercambiador de calor enterrado	55
3.2.4	Diseño del sistema de adquisición de datos	60
3.3	Ejecución de la instalación experimental	65
4.	Análisis de Datos Experimentales	75
4.1	Periodo de recogida y análisis de datos	75
4.2	Cálculo de la demanda energética	82
4.2.1	Comparativa de la demanda energética experimental con la demanda energética de diseño	87
4.3	Cálculo del rendimiento del sistema	91
4.4	Cálculo de la energía intercambiada con el terreno	97
4.5	Análisis de las temperaturas de trabajo en el intercambiador de calor enterrado	100
4.5.1	Temperatura del fluido en el intercambiador	101
4.5.2	Temperatura media del terreno	103
5.	Modelado y Simulación de la Instalación Experimental	109
5.1	Modelado de sistemas de intercambiador de calor enterrado vertical en TRNSYS	109

5.2	Descripción del modelo	112
5.2.1	Modelo de bomba de calor	113
5.2.2	Modelo de bomba de circulación	117
5.2.3	Modelo de intercambiador de calor enterrado vertical	118
5.2.4	Modelo de cargas térmicas	122
5.2.5	Componentes auxiliares del modelo	127
5.3	Resultados de la simulación	128
6.	Comparativa entre la Predicción del Modelo y los Resultados Experimentales	137
6.1	Validación del modelo	137
6.2	Comparativa del rendimiento medio estacional	139
6.2.1	Caracterización de la bomba de calor a carga parcial	145
6.3	Comparativa del rendimiento medio diario	154
6.4	Análisis de errores y discusión de los resultados	156
7.	Conclusiones y Trabajos Futuros	161
7.1	Conclusiones	161
7.2	Trabajos futuros	163
	Apéndice Contribuciones Originales	165
	Bibliografía	167

Lista de Figuras	183
Lista de Tablas	189