

# Índice

	<u>Pag.</u>
Prólogo .....	12
Introducción .....	19
<b>1. -LA PERFORACIÓN Y ACABADO DE SONDEOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES .....</b>	<b>27</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	28
1.2. TECNOLOGÍAS DE PERFORACIÓN .....	31
1.3. PLAN DE PERFORACIÓN .....	35
1.3.1. Planificación de los trabajos .....	35
1.3.2. Accesos a la obra y espacio de trabajo .....	39
1.3.3. Drenaje de la parcela .....	41
1.3.4. Suministros en obra .....	42
1.4. CONTROL DE EJECUCIÓN .....	42
1.5. INFORME FINAL .....	50
<b>2. -CAPTACIÓN GEOTÉRMICA .....</b>	<b>60</b>
2.1. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS .....	61
2.2. SISTEMAS CERRADOS. INTERCAMBIADORES VERTICALES .....	64
2.2.1. Planificación, diseño y optimización de la captación .....	64
2.2.2. Parámetros térmicos del subsuelo o caracterización del subsuelo. ....	68
2.2.3. Longitud (profundidad) del intercambiador geotérmico .....	69
2.2.4. Distancia entre sondeos .....	70
2.2.5. Configuración del campo de sondas .....	71
2.2.6. Resistividad térmica en la perforación .....	72
2.2.7. Forma de aprovechamiento .....	76
2.2.8. Dimensionado de una instalación de captación con sondas geotérmicas verticales.....	78
2.2.9. Ejecución campo de captación vertical.....	78
2.2.9.1. Perforación del sondeo.....	78
2.2.9.2. Instrumentación del sondeo .....	80
2.2.9.2.1. Sondas de captación geotérmica .....	81
2.2.9.3. Inyección .....	82
2.2.9.4. Llenado del circuito de captación .....	83
2.3. SISTEMAS CERRADOS. INTERCAMBIADORES HORIZONTALES.....	84
2.3.1. Diseño .....	85
2.3.2. Dimensionado de una instalación de captación horizontal .....	86
2.3.3. Ejecución campo de captación horizontal .....	87
2.4. SISTEMAS ABIERTOS .....	89
2.4.1. Diseño de sistemas abiertos. ....	91
2.4.1.1. Estudio hidrogeológico .....	91
2.4.1.2. Diseño preliminar .....	94
2.4.2. Ejecución de los pozos.....	94
2.5. OTROS SISTEMAS .....	95
2.5.1. Aprovechamiento de agua en túneles y minas.....	95
2.5.2. Cimentación activa .....	95
2.5.3. Otros sistemas .....	96
2.6. HIDRÁULICA DE CAPTACIÓN .....	97
2.6.1. Componentes de la hidráulica de captación .....	97
2.6.2. Cálculo de la pérdida de carga de una instalación geotérmica .....	97
2.6.3. Tuberías generales de distribución .....	108
2.6.4. Bombas de circulación .....	111
2.6.5. Vasos de expansión .....	113
2.6.6. Pruebas hidráulicas en el sistema de captación geotérmica .....	115
2.6.6.1. Instalaciones de captación horizontal.....	115
2.6.6.2. Instalaciones de captación vertical.....	115

<b>3. - BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....</b>	<b>123</b>
3.1. TIPOS DE BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....	124
3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....	126
3.3. CONCEPTOS BÁSICOS Y DIAGRAMAS TERMODINÁMICOS .....	128
3.3.1. Primer principio aplicado a sistemas abierto en régimen permanente .....	128
3.3.2. Diagrama termodinámico logP-h .....	130
3.4. BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS. CICLO Y COMPONENTES BÁSICOS .....	133
3.4.1. Proceso en el evaporador .....	134
3.4.2. Proceso en el compresor .....	135
3.4.3. Proceso en el condensador .....	137
3.4.4. Proceso en el dispositivo de expansión .....	138
3.4.5. Ciclo básico de una bomba de calor geotérmica .....	139
3.4.6. Intercambiador líquido-vapor .....	140
3.5. BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS. CICLO REAL .....	142
3.6. TIPOS DE COMPONENTES BÁSICOS EN BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....	144
3.6.1. Compresores .....	144
3.6.1.1. Compresores scroll .....	144
3.6.1.2. Compresores rotativos .....	147
3.6.1.3. Compresores de tornillo .....	149
3.6.2. Condensadores y evaporadores .....	150
3.6.3. Dispositivos de expansión .....	153
3.6.4. Componentes adicionales .....	156
3.7. MEDIDA DE LA EFICIENCIA EN LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....	157
3.7.1. Eficiencias estacionarias de calentamiento y enfriamiento .....	157
3.7.2. Eficiencias estacionales de calentamiento y enfriamiento .....	160
<b>4. - SISTEMAS DE EMISIÓN .....</b>	<b>165</b>
4.1. <u>- Cálculo de cargas .....</u>	165
4.1.1. Regulaciones de Edificación .....	166
4.1.1.1. Definición de carga térmica .....	166
4.1.1.2. Limitación de la demanda energética .....	166
4.1.1.3. Métodos de cálculos de cargas .....	167
4.1.2. Determinación de la carga térmica del edificio .....	168
4.1.2.1. Transmisión de calor a través de un cerramiento opaco .....	169
4.1.2.2. Transmisión de calor a través de un cerramiento semitransparente .....	169
4.1.2.3. Carga por ventilación .....	170
4.1.2.4. Carga por infiltración .....	170
4.1.2.5. Carga por ocupantes .....	170
4.1.2.6. Carga por iluminación .....	172
4.1.2.7. Carga por equipamiento .....	172
4.1.2.8. Carga por la propia instalación .....	174
4.1.2.9. Carga de mayoración .....	174
4.1.3. Determinación de la capacidad de la bomba de calor .....	174
4.1.3.1. Instalaciones de potencia instalada inferior a 70 kW .....	175
4.1.3.2. Instalaciones de potencia instalada superior a 70 kW .....	175
4.1.4. Temperaturas de suministro .....	176
4.1.5. Confort térmico .....	177
4.1.6. Ventilación controlada .....	178
4.2. <u>- Sistemas de Emisión .....</u>	181
4.2.1. Sistemas de emisión de baja inercia .....	182
4.2.1.1. Radiadores de baja temperatura .....	184
4.2.1.1.1. Cálculo de potencia en radiadores de BT .....	185
4.2.1.1.2. Tipos de radiadores de BT .....	187
4.2.1.2. Termoconvectores .....	188
4.2.1.3. Fancoils y climatizadores .....	189
4.2.1.3.1. Tipos de fancoils .....	190
4.2.1.3.2. Cálculo de potencia térmica en fancoils .....	191
4.2.1.3.3. Características específicas de los fancoils .....	192
4.2.1.4. Otros sistemas de emisión de baja inercia .....	193
4.2.1.4.1. Toalleros .....	193
4.2.1.4.2. Zócalo radiante .....	193
4.2.2. Sistemas de emisión de alta inercia (superficies radiantes) .....	194

4.2.2.1.	Confort térmico.....	195
4.2.2.2.	El suelo radiante.....	197
4.2.2.2.1.	Composición del suelo radiante.....	198
4.2.2.3.	Otros sistemas de alta inercia .....	203
4.2.2.3.1.	El techo radiante.....	203
4.2.2.3.2.	La pared radiante .....	203
4.2.3.	Tabla resumen de sistemas de emisión .....	204
<b>4.3.</b>	<b>- Selección Sistemas de Emisión .....</b>	<b>205</b>
4.3.1.	Condiciones de confort.....	206
4.3.2.	Aspectos que influyen en el cálculo de cargas térmicas .....	207
4.3.3.	Influencia térmica de los cerramientos, aislamiento y situación del mismo, en las condiciones del local .....	207
4.3.4.	Importancia de la renovación del aire interior (salubridad ambiental) .....	212
4.3.4.1.	Caso particular en edificios de viviendas.....	213
4.3.5.	Simulación dinámica de edificios.....	213
4.3.6.	Elección del sistema de emisión .....	215
4.3.6.1.	Radiadores .....	215
4.3.6.2.	Fan coils – climatizadores .....	215
4.3.6.3.	Suelo radiante .....	215
4.3.6.3.1.	Comportamiento de los diferentes conceptos de suelo radiante .....	216
4.3.6.3.2.	Circuitos de suelo radiante. Caudales y pérdida de carga.....	224
<b>4.4.</b>	<b>- Esquemas .....</b>	<b>226</b>
4.4.1.	Puntos clave que afectan al rendimiento (SPF: Season Performance Factor).....	226
4.4.2.	Importancia del acumulador de inercia.....	228
4.4.3.	Esquemas de principio .....	231
4.4.3.1.	Instalación básica de bomba de calor geotérmica. Emisión de calor para calefacción.....	231
4.4.3.2.	Instalación básica de bomba de calor geotérmica con emisión de calor para calefacción y refrescamiento gratuito en verano para suelo radiante.....	232
4.4.3.3.	Instalación para producción de ACS por acumulación y calefacción .....	233
4.4.3.4.	Instalación para producción de ACS instantánea y calefacción con una única inercia.....	235
4.4.3.5.	Instalación para producción de ACS instantánea y calefacción con inercias independientes .....	236
4.4.3.6.	Instalación de calor y frío con bomba de calor geotérmica con inversión de ciclo en el circuito frigorífico (suelo radiante y fancoils).....	237
4.4.3.7.	Instalación de calor y frío con bomba de calor geotérmica con inversión de ciclo en el circuito frigorífico (alternativa con válvulas de dos vías).....	239
4.4.3.8.	Instalación de calefacción, refrigeración y producción de ACS con bomba de calor geotérmica con inversión de ciclo frigorífico .....	241
4.4.3.9.	Instalación de calefacción, refrigeración, toalleros, climatización de piscina y producción de ACS.....	244
4.4.3.10.	Instalación de calefacción, producción de ACS y refrigeración gratuita (con recuperación de gases calientes de descarga del compresor a alta temperatura) .....	247
4.4.3.11.	Integración solar en instalación de calefacción, producción de ACS y refrigeración gratuita (con recuperación de gases calientes de descarga del compresor a alta temperatura).....	249
4.4.3.12.	Instalación de calefacción, producción de ACS y refrigeración con bomba de calor geotérmica sin inversión de ciclo frigorífico) .....	251
4.4.3.13.	Instalación solar en Instalación de calefacción, producción de ACS y refrigeración con bomba de calor geotérmica sin inversión de ciclo frigorífico .....	254
4.4.3.14.	Instalaciones mixtas .....	257
<b>5.</b>	<b>- MODOS DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE UNA BCG .....</b>	<b>263</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	264
5.2.	CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS CON BOMBA DE CALOR .....	266
5.2.1.	Curvas de horas anuales.....	266
5.2.2.	Curvas de temperatura.....	272

5.2.3.	Curvas de potencias.....	273
5.2.4.	Curvas de rendimiento .....	276
5.2.5.	Combinación de curvas .....	277
5.3.	<b>CURVA DE CALEFACCIÓN .....</b>	<b>278</b>
5.3.1.	Curva de calefacción teórica .....	279
5.3.2.	Curva de calefacción real.....	281
5.3.3.	Curva de calefacción en el sistema de regulación .....	283
5.3.3.1.	Compensación por la temperatura del local.....	285
5.3.3.2.	Compensación por la temperatura exterior .....	286
5.3.3.3.	Obtención de la temperatura de impulsión considerando las compensaciones .....	287
5.4.	<b>MODOS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>289</b>
5.4.1.	Modo de funcionamiento monovalente.....	289
5.4.2.	Modo de funcionamiento bivalente.....	291
5.4.2.1.	Modo de funcionamiento bivalente-paralelo .....	292
5.4.2.2.	Modo de funcionamiento bivalente-alternativo .....	294
5.4.2.3.	Modo de funcionamiento bivalente-paralelo/alternativo .....	296
5.4.2.4.	Modo de funcionamiento monoenergético.....	298
5.5.	<b>MODOS DE FUNCIONAMIENTO PARA INSTALACIONES GEOTÉRMICAS .....</b>	<b>299</b>
5.5.1.	Limitación de la potencia eléctrica.....	300
5.5.2.	Limitación de la potencia en el medio ambiente.....	300
5.5.3.	Limitación por temperatura de impulsión.....	301
5.5.4.	Limitación por coste de la instalación.....	301
5.6.	<b>DETERMINACIÓN DEL PUNTO BIVALENTE Y DE LA POTENCIA DEL SISTEMA AUXILIAR .....</b>	<b>303</b>
5.6.1.	Determinación para funcionamiento bivalente-paralelo.....	303
5.6.2.	Determinación para funcionamiento bivalente-alternativo .....	305
5.7.	<b>CONTROL DE LAS INSTALACIONES .....</b>	<b>307</b>
5.7.1.	Elementos de control en las instalaciones.....	308
5.7.1.1.	Sonda de temperatura exterior.....	308
5.7.1.2.	Sonda de temperatura de inmersión .....	309
5.7.1.3.	Válvula mezcladora .....	309
5.7.1.4.	Termostato de seguridad.....	310
5.7.1.5.	Termostato ambiente.....	310
5.7.1.6.	Sonda de ambiente .....	311
5.7.1.7.	Sondas de humedad .....	311
5.7.1.8.	Regulación de la BCG.....	312
5.7.2.	Control en modo de funcionamiento monovalente .....	312
5.7.2.1.	Calentamiento directo.....	313
5.7.2.2.	Calentamiento regulado con acumulador de inercia .....	314
5.7.2.3.	Calentamiento regulado con carga de inercia regulada .....	316
5.7.3.	Control en modo de funcionamiento bivalente .....	317
5.7.3.1.	Sistema bivalente-paralelo, con inercia y control del calentamiento .....	318
5.7.3.2.	Sistema bivalente, con control de la carga de inercia y control del calentamiento .....	320
5.7.3.3.	Sistema bivalente-paralelo, con calentamiento de inercia con caldera y control del calentamiento .....	323
<b>6.</b>	<b>- INSTALACIÓN DE UNA BCG.....</b>	<b>328</b>
6.1.	<b>PROPUESTA DE INSTALACIONES CON BCG .....</b>	<b>329</b>
6.1.1.	Toma de datos en edificios de nueva construcción.....	329
6.1.2.	Toma de datos en instalaciones existentes.....	331
6.1.3.	Análisis de los datos obtenidos .....	333
6.1.4.	Presentación de propuesta.....	335
6.2.	<b>CONSIDERACIONES PREVIAS A LA INSTALACIÓN DE UNA BCG .....</b>	<b>336</b>
6.3.	<b>INSTALACION DE UNA BCG .....</b>	<b>337</b>
6.3.1.	Acopio de materiales .....	337
6.3.2.	Replanteo de la instalación .....	338
6.3.3.	Instalación de equipos.....	339
6.3.4.	Pruebas previas a la puesta en marcha .....	341
6.3.5.	Principios eléctricos para la instalación de una BCG .....	343
6.3.5.1.	El arrancador suave .....	344
6.3.5.2.	Cálculo de la protección de fuerza .....	344

6.3.5.3.	Cálculo de la protección eléctrica de maniobra .....	345
6.3.5.4.	Cálculo del interruptor diferencial .....	346
6.3.5.5.	Tabla de intensidades máximas en conductores flexibles.....	346
6.3.5.6.	Cálculo de la potencia a contratar .....	347
<b>7.</b>	<b>- PUESTA EN MARCHA E INFORMACIÓN AL CLIENTE .....</b>	<b>350</b>
7.1.	VERIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	351
7.1.1.	Actuaciones previas a la instalación.....	351
7.1.1.1.	Recepción de los materiales .....	351
7.1.1.2.	Correspondencia con el esquema de principio.....	351
7.1.2.	Actuaciones posteriores a la instalación.....	351
7.1.2.1.	Inspección visual .....	351
7.1.2.2.	Integridad estructural de la instalación mecánica .....	352
7.1.2.3.	Instalación hidráulica .....	352
7.1.2.4.	Prueba de presión en el sistema de calefacción .....	353
7.1.2.5.	Prueba de presión en el sistema de captación.....	354
7.1.2.6.	Comprobación de caudal en el sistema de captación .....	355
7.1.2.7.	Comprobación sistema de captación.....	355
7.1.2.8.	Comprobación de la instalación eléctrica .....	355
7.1.2.9.	Purgado de la instalación .....	357
7.2.	PUESTA EN MARCHA .....	357
7.3.	INFORMAICIÓN AL CLIENTE .....	359
7.3.1.	Funcionamiento del sistema .....	359
7.3.2.	Procedimientos de encendido y apagado.....	360
7.3.3.	Mantenimiento básico y procedimientos de diagnóstico.....	360
7.3.3.1.	Sistema de captación .....	361
7.3.3.2.	Bomba de calor geotérmica.....	361
7.3.3.3.	Sistema de calefacción.....	361
7.3.4.	Contacto con el servicio de asistencia técnica .....	362
7.3.5.	Normas de seguridad .....	362
7.3.5.1.	Refrigerante.....	362
7.3.5.2.	Contacto eléctrico y térmico .....	362
7.3.6.	Manual de usuario .....	363
7.3.6.1.	Entrega del manual de usuario a la propiedad .....	363
7.3.6.2.	Menús de regulación .....	364
7.3.6.3.	Modos de funcionamiento .....	364
7.3.6.4.	Configuración de temperaturas .....	364
7.3.6.5.	Configuración de horarios .....	364
7.3.6.6.	Configuración de fecha y hora.....	364
7.3.6.7.	Configuración de prioridad del sistema .....	364
7.3.6.8.	Información del sistema.....	365
7.3.6.9.	Configuración de accesorios .....	365
7.3.6.10.	Leyenda de códigos de error.....	365
<b>8.</b>	<b>- MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE FALLOS DE UNA BCG .....</b>	<b>367</b>
8.1.	MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES CON BCG.....	368
8.1.1.	Introducción.....	368
8.1.2.	Mantenimiento legal según normativa actual .....	370
8.1.2.1.	Obligaciones de mantenimiento según el actual RITE .....	370
8.1.3.	Desarrollo de un mantenimiento en instalación con BCG .....	374
8.1.3.1.	Introducción.....	374
8.1.3.2.	Acciones previas al mantenimiento .....	375
8.1.3.3.	Procedimiento .....	375
8.1.3.4.	Bomba de calor geotérmica.....	375
8.1.3.5.	Mantenimiento de los elementos de la instalación .....	379
8.2.	DIAGNOSTICO DE FALLOS .....	380
<b>9.</b>	<b>- MARKETING Y VENTAS .....</b>	<b>384</b>
9.1.	LA RELACIÓN ENTRE MARKETING Y VENTAS .....	385
9.1.1.	Introducción.....	385
9.1.2.	¿Qué es el marketing? .....	386
9.1.3.	Planificación estratégica del marketing .....	387
9.1.4.	Producto .....	388

9.1.5.	Precio .....	389
9.1.6.	Promoción o comunicación .....	389
9.1.7.	Plaza o distribución .....	390
9.2.	EL PROCESO DE VENTA .....	391
9.2.1.	¿Qué es la venta? .....	391
9.2.2.	Preparación de la venta.....	391
9.2.3.	Análisis de las necesidades del cliente .....	392
9.2.4.	Toma de contacto con el cliente .....	392
9.2.5.	Argumentación y resolución de objeciones .....	393
9.2.6.	Cierre de la venta .....	293
9.2.7.	Servicio postventa .....	394
9.3.	LA GEOTERMIA COMO PRODUCTO COMERCIAL .....	395
9.3.1.	El mercado de la geotermia.....	395
9.3.2.	Análisis DAFO .....	395
9.3.3.	Análisis de la competencia .....	397
9.3.4.	Posibles clientes. Quiénes son y cómo localizarlos.....	398
9.3.5.	Argumentos de venta .....	400
9.3.6.	Presentación de la oferta y cierre de la venta .....	402
<b>10.-</b>	<b>NORMATIVA.....</b>	<b>408</b>
10.1.	TIPOLOGIA DE REGLAMENTOS .....	409
10.2.	LEGISLACION APLICABLE.....	410
10.3.	LEGISLACIÓN EUROPEA.....	410
10.3.1.	Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.....	410
10.3.2.	Decisión 2007/742/CE donde se establecen los criterios de etiquetado ecológico a las bombas de calor accionadas eléctricamente .....	411
10.3.3.	Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables .....	413
10.3.4.	Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios. (Anterior Directiva 2002/91).....	414
10.3.5.	Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.....	414
10.4.	LEGISLACIÓN ESPAÑOLA.....	414
10.4.1.	Real Decreto 314/2006 que aprobó el Código Técnico de la Edificación .....	415
10.4.2.	Real Decreto 47/2007, procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. ....	416
10.4.3.	Real Decreto 1826/200, donde se modifica el RD 1027/2007 del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificación (RITE). ....	417
10.4.4.	Explotación del recurso. Ámbito Minero. ....	418
10.4.5.	Real Decreto 1/2008 del 11 de Enero de Evaluación de impacto Ambiental.....	418
10.5.	LEGISLACIÓN AUTONÓMICA GALLEGA .....	419
10.5.1.	Lei 22/1973, do 21 de xullo, de minas, modificada pola Lei 54/1980, do 5 de novembro, de modificación da Lei de minas, con especial atención aos recursos minerais enerxéticos.....	419
10.5.2.	Lei 3/2008, de 23 de maio, de ordenación da minaría de Galicia Regulamento xeral de normas básicas de seguridade mineira e nas súas instrucións técnicas complementarias ITC MIE SM 06.0.01 «Prescricións xerais», ITC MIE SM 06.0.03 «Execución de sondaxes con torre» e ITC MIE SM 06.0.06 «Aproveitamentos de recursos xeotérmicos» Real decreto 107/1995, do 27 de xaneiro.....	419
10.5.3.	Decreto 442/1990, de 13 de setembro de 1990, de Evaluación de Impacto Ambiental (DOG nº 188, de 25/09/90). ....	420
10.5.4.	Instrucción 6/2010, del 20 de septiembre, de la Dirección Xeral de Industria, Enerxía e Minas, para que las instalaciones que emplean bombas de calor geotérmicas para a produción de calefacción, agua caliente sanitaria y/o refrigeración puedan ser consideradas como instalaciones que emplean fuentes de energía renovables (DOG nº 204, de 22 de outubro de 2010). ....	420
10.5.5.	Instrucción 5/2010, del 20 de julio, de la Dirección Xeral de Industria, Enerxía e Minas, relativa a los aprovechamientos de recursos geotérmicos en la Comunidad Autónoma de Galicia (DOG nº 156, de 16 de agosto de 2010). ....	420
10.5.6.	Orden para el uso y aprovechamiento de la geotermia de muy baja temperatura. ....	421

<b>11.- MÓDULO PRÁCTICO .....</b>	<b>423</b>
11.1. APLICACIÓN TIPO EN VIVIENDA UNIFAMILIAR.....	423
11.2. GEOTERMIA COMBINADA CON SOLUCIONES ESPECÍFICAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	433