

Índice

	<u>Pag.</u>
Prólogo	12
Introducción	19
1. -LA PERFORACIÓN Y ACABADO DE SONDEOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES	27
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
2. -CAPTACIÓN GEOTÉRMICA	60
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

3. - BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS	123
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
4. - SISTEMAS DE EMISIÓN	165
4.1. <u>- Cálculo de cargas</u>	<u>165</u>
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>	<u>181</u>
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
4.3.	- Selección Sistemas de Emisión	205
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
4.4.	- Esquemas	226
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
5.	- MODOS DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE UNA BCG	263
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.	CURVA DE CALEFACCIÓN	278
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.	MODOS DE FUNCIONAMIENTO	289
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.	MODOS DE FUNCIONAMIENTO PARA INSTALACIONES GEOTÉRMICAS	299
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.	DETERMINACIÓN DEL PUNTO BIVALENTE Y DE LA POTENCIA DEL SISTEMA AUXILIAR	303
5.6.1.	Determinación para funcionamiento bivalente-paralelo.....	303
5.6.2.	Determinación para funcionamiento bivalente-alternativo	305
5.7.	CONTROL DE LAS INSTALACIONES	307
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
6. - INSTALACIÓN DE UNA BCG		328
6.1.	PROPUESTA DE INSTALACIONES CON BCG	329
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.	CONSIDERACIONES PREVIAS A LA INSTALACIÓN DE UNA BCG	336
6.3.	INSTALACION DE UNA BCG	337
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
7. - PUESTA EN MARCHA E INFORMACIÓN AL CLIENTE		350
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
8.	- MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE FALLOS DE UNA BCG	367
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
9.	- MARKETING Y VENTAS	384
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
10.-	NORMATIVA.....	408
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 quente sanitaria y/o refrigeración puedan ser consideradas como instalaciones que emplean fontes de enerxía 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 aproveitamentos 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 aproveitamiento de la geotermia de muy baja temperatura.	421
11.-	MÓDULO PRÁCTICO	423
11.1.	APLICACIÓN TIPO EN VIVIENDA UNIFAMILIAR.....	423
11.2.	GEOTERMIA COMBINADA CON SOLUCIONES ESPECÍFICAS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	433