



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

TRABAJO FIN DE MASTER

PROYECTO DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO PARA USO HORTÍCOLA EN VEGAS DEL CONDADO, LEÓN

León, 20 de Junio de 2014

Autor: Olga García Álvarez
Tutor: Luis Manuel Fuente Menéndez

ÍNDICE

MEMORIA DESCRIPTIVA

1 Antecedentes.....	1
2 Objeto del proyecto.....	13
3 Ubicación de los sondeos	
3.1 Emplazamiento.....	14
3.2 Geología.....	15
3.3 Hidrogeología.....	18
4 Legislación aplicable.....	19
5 Descripción del aprovechamiento geotérmico-sistema cerrado.....	21
6 Descripción de los trabajos a realizar.....	23
6.1 Protocolo general de control de los sondeos geotérmicos.....	25
7 Test de respuesta geotérmico (TRG/TRT).....	28
8 Bomba de calor geotérmica e intercambiadores.....	30
9 Análisis de potenciales impactos sobre el medio ambiente.....	49
10 Medidas preventivas, correctoras o compensatorias para la adecuada protección del medio ambiente.....	56
11 Medidas de seguridad e higiene.	
11.1 Medidas referentes a la realización y ubicación del sondeo.....	58
11.2 Medidas referentes a la instalación eléctrica.....	59

ANEXO MEMORIA N°1: PLANIFICACIÓN

1 Maquinaria a emplear	
1.1 Características de la maquinaria.....	61
1.2 Descripción del equipo accesorio.....	63
2 Personal a emplear.....	65
3 Calendario de ejecución.....	66

ANEXO MEMORIA Nº2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CULTIVO EN INVERNADEROS

1 Introducción	67
2 Temperatura.....	70
3 Calefacción.....	71
4 Refrigeración.....	75
5 Ventilación.....	77
6 Conservación del calor.....	79
7 Humedad.....	81
8 Dióxido de carbono.....	83
9 Ejemplos de invernaderos con energía geotérmica.....	84
10 Estimación de las necesidades energéticas del invernadero	
10.1 Introducción.....	85
10.2 Medidas a desarrollar para mejorar la eficiencia energética.....	86
10.3 Cálculo de las necesidades energéticas.....	87
10.4 Cálculo del balance energético en un invernadero.....	91
11 Datos del invernadero y estimación de la necesidad de aporte térmico para caldeo interior.....	98
12 Medidas complementarias de ahorro energético.....	101
13 Medidas complementarias de mejora de la eficiencia energética.....	107
14 Análisis del sistema de calefacción.....	110

PLANOS

- 1 Situación general
- 2 Situación relativa al casco urbano
- 3 Ubicación del campo geotérmico en la parcela

PLIEGO DE CONDICIONES

1	Introducción y generalidades.....	112
1.1	Objeto.....	112
1.2	Compatibilidad de documentos.....	112
1.3	Dirección facultativa.....	113
1.4	Personal del contratista.....	114
1.5	Descripción de las obras.....	114
1.6	Permisos, licencias e indemnizaciones.....	115
1.7	Documento de seguridad y salud.....	115
1.8	Ejecución de las obras.....	115
1.8.1	Condiciones generales.....	115
1.8.2	Subcontratación de las obras.....	116
1.8.3	Obras accesorias.....	117
1.8.4	Señalización de las obras.....	117
1.9	Inspección y ensayos.....	118
1.10	Dosificaciones.....	119
1.11	Conservación de las obras.....	119
1.12	Medidas de seguridad.....	119
2	Materiales	120
3	Ejecución de las obras.....	121
3.1	Condiciones generales.....	121
3.2	Responsabilidades especiales del contratista.....	121
3.3	Verificación de las obras.....	122
3.4	Protección de la calidad del agua.....	122
3.5	Replanteo.....	123
3.6	Testigos, muestras y registros.....	124
3.7	Penalizaciones.....	124
3.8	Restablecimiento de las características del entorno.....	125

3.9 Cierre total del pozo o su abandono definitivo.....	125
3.10 Indemnización por daños y perjuicios que se originen con motivo de la ejecución de las obras.....	126
4 Medición y abono de las obras.....	127
4.1 Precios unitarios.....	127
4.2 Medición y abono de obras no especificadas.....	128
4.3 Precios contradictorios.....	128
4.4 Medición y abono.....	128
4.4.1 Metro lineal del sondeo.....	129
4.4.2 Metro lineal de tubería colocada.....	130
4.4.3 Metro lineal del tramo filtrante colocado.....	130
4.4.4 Días/máquina y desarrollo.....	130
4.4.5 Trabajos y materiales varios.....	130
4.4.6 Obras defectuosas.....	131
5 Plazos de ejecución y garantía.....	132
5.1 Plazo .de ejecución.....	132
5.2 Recepción de la obra.....	132
5.3 Plazo de garantía.....	132
5.4 Recepción definitiva.....	132
6 Medidas generales de protección del medio ambiente durante la ejecución de las obras	
6.1 Definición.....	133
6.2 Descripción de las medidas de protección ambiental.....	133
6.2.1 Daños a la vegetación.....	133
6.2.2 Emisión de sustancias en suspensión.....	133
6.2.3 Instalaciones de obra y mantenimiento de maquinaria.....	134
7 Programa de trabajo, régimen de obra, abono de la misma y disposiciones generales.	
7.1 Programa de trabajo.....	135
7.2 Régimen de obra.....	135
7.3 Validez del pliego.....	135

7.4 Clasificación del contratista.....	135
<u>PRESUPUESTO</u>	
1 Precios unitarios.....	136
2 Mediciones.....	138
3 Presupuesto.....	140
4 Resumen del presupuesto.....	142
<u>DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD</u>	
1 Antecedentes.....	143
2 Objeto.....	146
3 Obligaciones del promotor.....	147
4 Coordinadores en materia de seguridad y salud.....	148
5 Plan de seguridad y salud en el trabajo.....	150
6 Obligaciones de contratistas y subcontratista.....	151
7 Obligaciones de los trabajadores.....	154
8 Libro de incidencias.....	156
9 Paralización de los trabajos.....	157
10 Derechos de los trabajadores.....	158
11 Interferencias y servicios afectados por las obras.....	159
12 Medidas o elementos de seguridad.....	164
12.1 Riesgos más frecuentes.....	165
12.2 Medidas preventivas.....	168
12.3 Medidas de protección personal colectivas.....	172
12.4 Medios de protección personal individuales.....	173
13 Maquinaria, herramienta.....	175
13.1 Compresor.....	175
13.2 Soldadura oxiacetilénica-oxicorte.....	176
14 Servicios médicos.....	177

14.1 Reconocimientos médicos.....	177
14.2 Centros de asistencia.....	177
15 Prevención de riesgos laborales.....	178
15.1 Formación-información a los trabajadores.....	178
15.2 Emergencias.....	178
15.2.1Definiciones.....	179
15.2.2 Accidente de trabajo.....	180
15.2.3 Incendios.....	184
16 Riesgos producidos por agentes atmosféricos.....	187
17 Riesgo de incendio.....	188
18 Riesgo de daños a terceros.....	189

ÍNDICE DE FIGURAS

MEMORIA DESCRIPTIVA

Fig. 3.1 Referencia catastral del inmueble.....	14
Fig. 3.2.1 Columnas estratigráficas.....	16
Fig. 3.2.2 Esquema morfoestructural.....	17
Fig. 6.1 Fases de perforación geotérmica.....	25
Fig. 7.1 Sistemas para la realización de Test de Respuesta Térmica.....	29
Fig. 8.1 Componentes básicos de una bomba de calor por compresión en régimen de calentamiento.....	31
Fig. 8.2 Balance de energía de una bomba de calor por compresión en régimen de calentamiento.....	32
Fig. 8.3 Ventajas e inconvenientes de los sistemas abiertos y cerrados.....	35
Fig. 8.4 Diagramas de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en sistema abierto.....	36
Fig. 8.5 Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal en serie y en paralelo.....	41
Fig. 8.6 Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal de un bucle.....	41
Fig. 8.7 Sistemas cerrados con intercambiadores de calor de tipo bobina.....	42
Fig. 8.8 Sistema cerrado con colector de zanja.....	43
Fig. 8.9 Intercambiador horizontal de lazo simple.....	43
Fig. 8.10 Intercambiador horizontal en bucles de slinky horizontal.....	44
Fig. 8.11 Sonda geotérmica.....	45
Fig. 8.12 Intercambiadores verticales en sondeos (sondas geotérmicas).....	46

ANEXO MEMORIA Nº2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CULTIVO EN INVERNADEROS

Fig. 10.3.1 Valores de temperatura adecuados para varios cultivos hortícolas en invernaderos.....	89
Fig. 10.3.2 Temperaturas de consigna de la calefacción.....	89
Fig. 10.3.3 Potencia instalada media y necesidades de calefacción en función del gradiente.....	90
Fig. 10.3.4 Valores de humedad adecuados a cada cultivo hortícola en invernadero.....	91
Fig. 10.4.1 Balance energético en un invernadero.....	92
Fig. 10.4.2 Tasas de renovación de aire por infiltración a través de la estructura.....	96
Fig. 11.1 Esquema de la estructura del invernadero.....	98
Fig. 14.1 Valores de la emisividad para algunos materiales utilizados en tuberías de calefacción.....	111

1 Antecedentes.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables define la energía geotérmica como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida. La Declaración de Bruselas de 2009 del Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC) califica esta última como una fuente de energía sostenible, renovable, casi infinita, que proporciona calor y electricidad las 24 horas del día a lo largo del año.

En sentido amplio, la energía geotérmica es la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre, que tiene su origen en los movimientos diferenciales entre las distintas capas que la constituyen principalmente, entre manto y núcleo, en el calor inicial que se liberó durante su formación que aún está llegando a la superficie, en la desintegración de isótopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto básicamente, uranio 235, uranio 238, torio 232 y potasio 40, y en el calor latente de cristalización del núcleo externo. La energía geotérmica engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia, pero no el contenido en masas de agua superficiales, continentales o marinas.

CONCEPTOS BÁSICOS

Gradiente Geotérmico

Se define como gradiente geotérmico el incremento de temperatura registrado al profundizar desde la capa más externa de la Tierra la corteza hacia las partes interiores de la misma. Dicho gradiente permite estimar el flujo de calor que se transmite desde las zonas internas de la corteza hacia las externas. Representa la cantidad de calor geotérmico que se desprende por unidad de superficie y se expresa en mW/m^2 .

El gradiente geotérmico observado en la mayor parte del Planeta, conocido como gradiente térmico normal, es de unos 2,5 - 3 °C cada 100 metros, si bien en ciertas regiones, situadas sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre, el incremento de la temperatura con la profundidad es muy superior al indicado, dando lugar a un gradiente geotérmico anómalo.

El calor contenido en rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, por lo que es necesario disponer de un fluido para transportarlo hasta la superficie de forma concentrada, para lo cual pueden emplearse sondeos, colectores horizontales o intercambiadores de calor tierra-aire enterrados a poca profundidad. El fluido geotérmico –líquido caliente rico en sales minerales y/o vapor– es, generalmente, agua. Su utilización dependerá del contenido de calor. Si es suficientemente elevado, se destinará a la producción de energía eléctrica; en caso contrario, se aprovechará directamente, utilizando intercambiadores o bombas de calor. El diseño del sistema de aprovechamiento, especialmente en el caso de las centrales eléctricas, estará condicionado por factores tales como las características químicas del fluido geotérmico, la temperatura y el contenido de gases no condensables.

Recurso geotérmico

El recurso geotérmico se define como la fracción de la energía geotérmica que puede ser aprovechada de forma técnica y económicamente viable. Incluye tanto los recursos actualmente conocidos cuyo aprovechamiento resulta factible, como los que podrían serlo en un futuro relativamente próximo. El concepto de recurso geotérmico incluye desde el calor que puede encontrarse en los horizontes más superficiales del suelo, hasta el almacenado en rocas situadas a profundidades que sólo pueden alcanzarse mediante técnicas de perforación petrolífera.

Los recursos geotérmicos se clasifican según su nivel térmico –o lo que es lo mismo, su entalpía o cantidad de energía térmica que un fluido puede intercambiar con entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg -, factor que condiciona claramente su aprovechamiento. En la bibliografía pueden encontrarse clasificaciones realizadas según distintos rangos de temperatura. Los admitidos por la Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT), elaborados siguiendo las últimas tendencias, son los siguientes:

- Recursos geotérmicos de alta entalpía ($T > 150$ °C). Se encuentran principalmente en zonas con gradientes geotérmicos elevados y se sitúan a profundidades muy variables (suelen oscilar entre 1.500 y 3.000 m). Están constituidos por vapor seco – en muy pocos casos– o, más frecuentemente, por una mezcla de agua y vapor, y su aprovechamiento fundamental es la producción de electricidad.
- Recursos geotérmicos de media entalpía ($T: 100$ °C – 150 °C). Suelen localizarse en zonas con un gradiente geotérmico elevado a profundidades inferiores a los 2.000 m y, en cuencas sedimentarias, a profundidades comprendidas entre 3.000 y 4.000 m. Su temperatura permite el uso para la producción de electricidad mediante ciclos binarios. También pueden aprovecharse para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos y en procesos industriales.
- Recursos geotérmicos de baja entalpía ($T: 30$ °C – 100 °C). Se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal a profundidades entre 1.500 y 2.500 m, o a profundidades inferiores a los 1.000 m en zonas con un gradiente geotérmico más elevado. Su explotación se destina básicamente a usos térmicos para calefacción/climatización y ACS urbanos y para diferentes procesos industriales. Los fluidos geotérmicos raras veces se utilizan directamente; lo más frecuente es el aprovechamiento mediante intercambiadores y/o bombas de calor. Suelen requerir una demanda importante de energía calorífica en las proximidades.

- Recursos geotérmicos de muy baja entalpía ($T < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Las temperaturas de estos recursos, generalmente próximas a la media anual del lugar donde se captan, corresponden a la energía térmica almacenada en las aguas subterráneas, incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles, siempre para uso exclusivamente energético y no consuntivo del agua, y en el subsuelo poco profundo (normalmente, a menos de 200 m, incluyendo las captaciones de calor asociadas a elementos constructivos de la edificación). En este último caso, la energía renovable puede captarse de manera muy eficiente, dada la estabilidad térmica del subsuelo frente a la oscilación estacional del ambiente como consecuencia de la transmisión de calor hacia las zonas más externas de la corteza. Dicha transmisión hace posible que, a partir de 10-15 m de profundidad, la temperatura del terreno se mantenga prácticamente estable durante todo el año. Su aplicación se centra en los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración de locales y/o procesos, con o sin utilización de una bomba de calor.

Yacimiento geotérmico

Se define como el espacio físico situado en el interior de la corteza terrestre con unas condiciones geológicas específicas, en el que se emplaza un recurso geotérmico cuya explotación resulta económicamente viable. Existen diferentes formas de clasificación de los yacimientos geotérmicos según el contexto geológico, nivel de temperatura, modo de explotación o tipo de utilización, si bien lo habitual es hacerlo en función del nivel térmico de los fluidos que contienen, es decir, de los recursos que albergan, adoptándose los mismos intervalos de temperatura considerados para clasificar estos últimos, es decir:

- Yacimientos de alta entalpía, en los que el fluido se encuentra en condiciones de presión y alta temperatura ($> 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

- Yacimientos de media entalpía, en los que el fluido se encuentra a temperaturas entre 100 y 150 °C.
- Yacimientos de baja entalpía, en los que la temperatura del fluido varía entre 30 y 100 °C.

El término yacimiento no suele aplicarse a los recursos de muy baja temperatura (< 30 °C), dada el carácter difuso de su distribución en toda la superficie terrestre.

Geotermia, es una palabra de origen griego que se deriva de “*geos*” que quiere decir tierra, y de “*thermos*” que significa calor: el calor de la Tierra. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano.

Desde el centro hasta la superficie, el globo terrestre está constituido por tres capas sucesivas de temperatura decreciente:

- El núcleo, sólido en su parte interna y líquido en su parte exterior. Su temperatura puede alcanzar los 4.200 °C.
- El manto que lo envuelve, con temperaturas que van desde los 3.000 °C a 1.000 °C. De textura plástica hacia el centro, se vuelve sólido hacia la superficie.
- La corteza, que corresponde a la envoltura superficial. Su temperatura varía desde los 1.000 °C en su contacto con el manto, hasta los 15-20 °C de la superficie terrestre. Su espesor varía desde 5 a 20 km en las profundidades oceánicas, y desde 30 a 70 km bajo los continentes. Con la parte sólida del manto constituye la litosfera, fragmentada en varias placas litosféricas que se desplazan lentamente, unas con

relación a otras, pudiendo dar lugar a importantes anomalías térmicas en sus bordes. El resultado de esta estructura interna es que el 99% de la masa de la Tierra está sometida a una temperatura superior a los 1.000 °C, y únicamente un 0,1% de la misma soporta temperaturas inferiores a los 100 °C.

Los orígenes del calor interno de la Tierra se encuentran en los siguientes procesos:

- Desintegración de isótopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto, principalmente, uranio 235, uranio 238, torio 232 y potasio 40.
- Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta hace 4.500 millones de años, y que todavía está llegando a la superficie.
- Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo.
- Cristalización del núcleo. El núcleo externo (líquido) está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor.

Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación, es de 42×10^{12} J. De ese total, 8×10^{12} J provienen de la corteza, la cual representa sólo el 2% del volumen total del planeta, $32,3 \times 10^{12}$ J provienen del manto, el cual representa el 82% del volumen total, y $1,7 \times 10^{12}$ J provienen del núcleo, que representa un 16% en volumen y no contiene isótopos radiactivos. El calor de la Tierra es inmenso, pero sólo una pequeña fracción del mismo puede ser utilizado por la Humanidad, el primer uso directo provino de los manantiales termales para cocinar alimentos y con fines medicinales, hasta la época actual en la que los medios técnicos disponibles permiten

extraerlo de la corteza terrestre y transformarlo en energía eléctrica, o usarlo directamente para calefacción humana o animal, y en procesos industriales y agrícolas.

De todos es sabido que el interior de la Tierra está caliente y que, a medida que profundizamos hacia el interior de ella se encuentran temperaturas crecientes. A veces no llegamos a percibir cómo el calor de la Tierra se disipa hacia su parte más externa. Sin embargo, ya el hombre primitivo aprovechaba esta característica peculiar del subsuelo y buscaba abrigo de las bajísimas temperaturas que entonces sufrían y se acomodaba en las cavernas que mantienen su temperatura prácticamente estable durante todo el año.

Es obvio que la energía geotérmica es una de las energías renovables que más desconocemos en nuestro país, la energía geotérmica, en su sentido más amplio, es el calor interno de la corteza terrestre. Aprovechar este calor como fuente de energía es una de las opciones más sostenibles desde el punto de vista medioambiental y económico. Este calor se debe a varios factores, el propio calor remanente de la misma, el gradiente geotérmico (aumento de la temperatura con la profundidad) y el calor radiogénico (desintegración de isótopos radiogénicos), entre otros.

Hace unos 4.500 millones de años, la Tierra era una inmensa bola ardiente constituida esencialmente por gases y polvo. Cuando esa nebulosa se enfrió y se consolidó, hace unos 3.800 millones de años, se formó una corteza dura que atrapó en su interior una ingente cantidad de calor, que todavía perdura hoy en día haciendo del planeta una enorme caldera natural.

Muchas especies animales se resguardan del frío en invierno y del calor en verano excavando madrigueras en tierra, y los hombres prehistóricos, antes de aprender a utilizar el fuego y a construir cabañas, buscaron protección de las inclemencias meteorológicas en

cavernas y cuevas subterráneas, donde la inercia térmica de rocas y suelos contribuye a que los descensos y aumentos de la temperatura ambiente sean menores y más lentos.

Los restos arqueológicos más antiguos relacionados con la energía geotérmica han sido encontrados en Niisato, en Japón, y son objetos tallados en piedra volcánica que datan de la Tercera Glaciación, hace entre 15.000 y 20.000 años. Hace más de 10.000 años, los Paleo-Indios de América del Norte, ya usaban las aguas termales para cocinar alimentos y sus minerales con propósitos medicinales. Los manantiales termales eran zonas neutrales donde los miembros de las naciones guerreras debían bañarse juntos en paz.

Las primeras civilizaciones, unos 3.500 años antes de Cristo, apreciaban la práctica de los baños termales y la utilización de barros termo-minerales, pero fueron griegos y, posteriormente, romanos los que dejaron numerosos ejemplos de la aplicación de la energía geotérmica en la calefacción urbana y en las tradicionales termas y baños públicos, que se convirtieron en gigantescos centros de ocio, salud y negocio. Las termas de Caracalla, en Roma, tenían un aforo para 1.600 personas.

Los romanos difundieron su uso por todo el imperio, extendiéndose con el paso del tiempo a Japón, América y Europa. La extracción de azufre, travertinos, caolines, limonitas y óxidos de hierro también ha estado ligada tradicionalmente a las fuentes termales.

En 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en algunas casas en Chaudes-Aigues, Francia, por cuyo mantenimiento los usuarios tenían que pagar una tasa. Servía, al mismo tiempo, para lavar lana y pieles.

La presencia de volcanes, fuentes termales y otros fenómenos termales debieron haber inducido a nuestros ancestros a suponer que partes del interior de la Tierra estaban

calientes; sin embargo, no fue hasta un período entre los siglos XVI y XVII, cuando las primeras minas fueron excavadas a algunos cientos de metros de profundidad, que el hombre dedujo, por simple sensaciones físicas, que la temperatura de la Tierra se incrementaba con la profundidad.

Las primeras mediciones mediante termómetros fueron probablemente realizadas en 1740, en una mina cerca de Belfort, en Francia (Bullard, 1965). Hacia 1870, se utilizaron modernos métodos científicos para estudiar el régimen termal de la Tierra, pero no fue hasta el siglo XX, y el descubrimiento del calor radiogénico, que podemos comprender plenamente tal fenómeno como un balance térmico y la historia térmica de la Tierra.

Todos los modelos termales modernos de la Tierra deben, en efecto, tomar en cuenta el calor continuamente generado por el decaimiento de los isótopos radioactivos de larga vida del Uranio (U238, U235), Torio (Th 232) y potasio (K40), presentes en la Tierra.

Además del calor radiogénico, en proporciones inciertas, están otras posibles fuentes de calor como puede ser la energía primordial de la acreción planetaria.

Recientemente en los años 80, se dispuso de teorías realistas de estos modelos, cuando se demostró que no había equilibrio entre el calor radiogénico generado en el interior de la Tierra y el calor disipado al espacio desde la Tierra, y que nuestro planeta esta lentamente enfriándose.

La energía térmica de la Tierra es por lo tanto inmensa, pero solo una fracción de ella podría ser utilizada por la humanidad. Hasta ahora la utilización de esta energía ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas permiten un transporte (agua en la fase líquida o vapor), para “transferir” el calor desde zonas calientes profundas hasta o cerca de

la superficie, dando así origen a los recursos geotérmicos; sin embargo, en el futuro cercano técnicas innovadoras podrían brindar nuevas perspectivas a este sector.

En muchos casos, las aplicaciones prácticas preceden a la investigación científica y a los desarrollos tecnológicos, la energía geotérmica es un buen ejemplo de esto. A comienzos del siglo XIX los fluidos geotermales fueron explotados por su contenido energético. En ese período se instaló en Italia una industria química (en la zona actualmente conocida como Larderello), para extraer el ácido bórico de las aguas calientes boratadas que emergían naturalmente o bien, de pozos perforados con ese objeto. El ácido bórico se obtenía mediante evaporación de las aguas boratadas en bateas de fierro, usando como combustible la madera de los bosques de los alrededores.

En 1827 Francisco Larderel, fundador de esta industria, desarrolló un sistema de una laguna cubierta, para utilizar el calor de los fluidos en el proceso de evaporación, en vez de quemar la madera de los bosques en rápido agotamiento.

En Francia, en 1833, en el barrio de Grenelle, en París, se inició el primer sondeo profundo, un pozo artesiano de 548 m de profundidad, que tardó ocho años en construirse y captó agua potable a 30 °C en el acuífero de arenas albienses de la Cuenca de París. La explotación del vapor natural por su energía mecánica empezó ese mismo tiempo.

El vapor geotérmico se utilizó para elevar líquidos en primitivos elevadores por presión de gas y más tarde en bombas recíprocas y centrífugas y en poleas, todo lo cual fue utilizado en las perforaciones o en la industria local de ácido bórico. Entre 1850 y 1875 la planta de Larderello mantuvo en Europa el monopolio de la producción de ácido bórico. Entre 1910 y 1940 el vapor de baja presión fue utilizado para climatizar invernaderos, edificios

industriales y residenciales, en esta parte de Toscana. Otros países también empezaron a desarrollar sus recursos geotérmicos a escala industrial.

En 1892 entró en operaciones el primer sistema distrital de calefacción geotermal, en Boise, Idaho (USA). En 1928 Islandia, otro país pionero en la utilización de la energía geotérmica, también inicio la explotación de sus fluidos geotermales (principalmente agua caliente) para calefacción doméstica.

En 1904 se llevo a cabo el primer intento de generar electricidad a partir de vapor geotérmico; nuevamente, esto tuvo lugar en Larderello.

El éxito de estas experiencias fue una clara demostración del valor industrial de la energía geotérmica y marcó el comienzo de una forma de explotación que se ha desarrollado significativamente desde entonces. La generación de electricidad en Larderello fue un éxito comercial.

En 1942 la capacidad geotermo-eléctrica instalada alcanzaba los 127.650 kWe pronto, varios países siguieron el ejemplo de Italia; en 1919 los primeros pozos geotermales de Japón fueron perforados en Beppu, seguidos en 1921 por pozos perforados The Geysir, California, USA, y en el Tatio, Chile. En 1958 entra en operación una pequeña planta geotermoelectrica en Nueva Zelandia, en 1959 otra en México, en 1960 en USA, seguidos por otros países en los años siguientes.

El Instituto Geotérmico de Nueva Zelanda, dependiente de la Universidad de Auckland, es pionero en la investigación geotérmica y en el desarrollo de tecnología para aprovechar esa energía. Fue creado en 1978, a petición de las Naciones Unidas en el marco de su Programa

de Desarrollo, ante la necesidad de un centro que pudiese formar a nuevos expertos en energía geotérmica procedentes de otros países.

Es también a partir de esa década, como consecuencia de las alzas de los precios del crudo, pero particularmente a partir de la década de los noventa, bajo la presión de las exigencias ambientales y, más particularmente, de la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, cuando el empleo de bombas de calor geotérmicas empieza a conocer un desarrollo prometedor a nivel internacional.

En menos de 15 años se ha llegado a la situación actual, con más de un millón de instalaciones, no sólo en América del Norte, Estados Unidos y Canadá, sino también en algunos países europeos, particularmente en Suecia, Suiza, Alemania y Austria.

2 Objeto del proyecto.

El objeto del presente proyecto es la realización de varios sondeos geotérmicos para aplicar esta energía renovable y limpia proveniente de la propia tierra en la climatización de un invernadero, permitiendo una mayor independencia frente a las subidas de los precios de los combustibles en comparación con los sistemas de calefacción tradicionales. Su principal fin es el aumentar los rendimientos de los cultivos con las mejores condiciones ambientales posibles durante todo el ciclo de cultivo, de manera que puedan desarrollar al máximo su potencial productivo con unos costes que permitan la viabilidad de la inversión, disminuyendo al mismo tiempo la emisión del dióxido de carbono.

Para ello se deben conocer las necesidades de las plantas apropiadas para cultivarse bajo el invernadero; se trata de saber lo que se necesita para su óptimo desarrollo vegetativo. Estas necesidades son: temperatura, humedad, suelo, nutrientes, dióxido de carbono, luz, radiación solar y oxígeno.

3 Ubicación de los sondeos.

3.1 Emplazamiento.

El sondeo se proyecta en la parcela con referencia catastral 24205A402001420000XT, de clase rústica, en el paraje El Sotillo, parcela 142, polígono 402 en Vegas del Condado, León.

La finca tiene una superficie de 11.080 m².

El sondeo se emplaza en un lugar donde no pueda haber interferencias con los servicios públicos (líneas eléctricas, canalizaciones de gas, agua, comunicaciones, etc.)

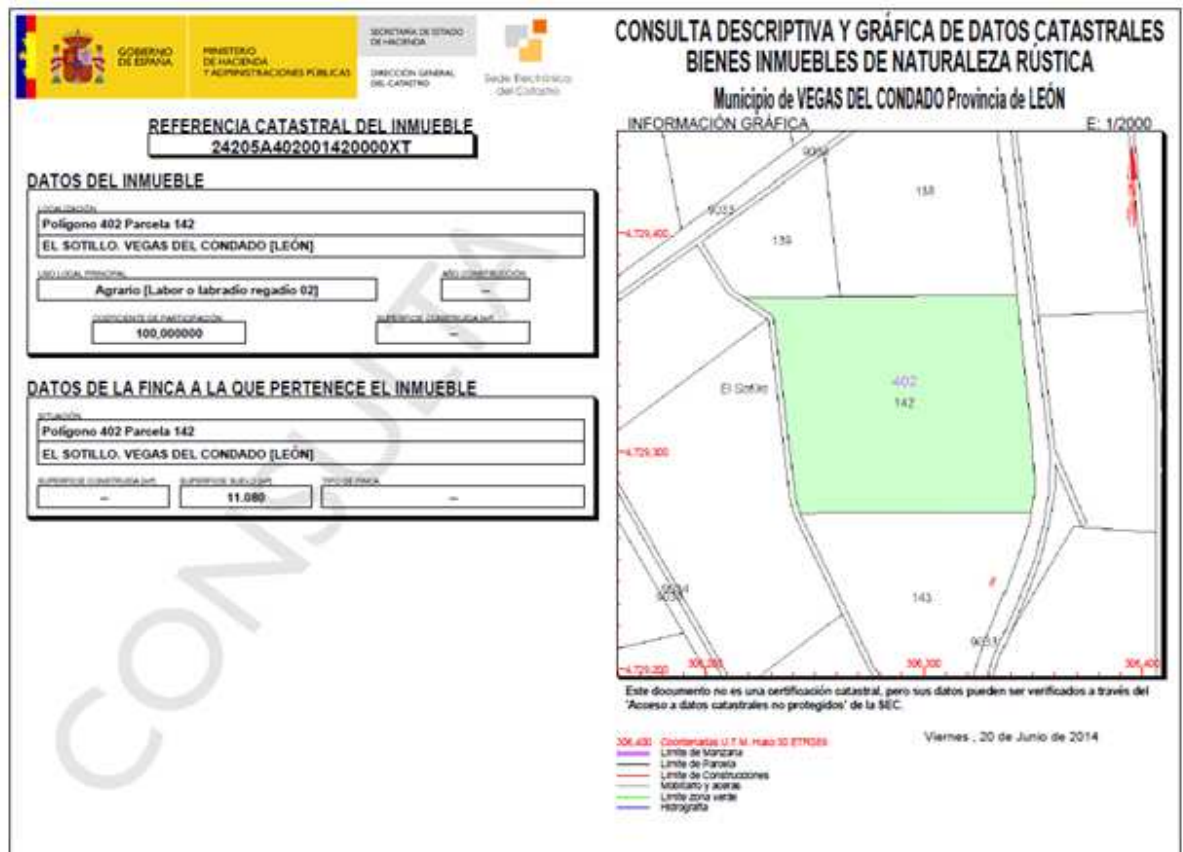


Figura 3.1.1- Referencia catastral del inmueble.

3.2 Geología.

Consultada la hoja Nº 130 del I.G.M.E., Vegas del Condado, la geología del entorno se encuentra situada en la submeseta septentrional del borde de la cuenca del Duero. Esta cuenca se ha colmatado con depósitos predominantemente Terciarios y Cuaternarios continentales, que se apoyan discordantemente sobre materiales paleozoicos. Estos depósitos se componen principalmente de conglomerados de facies proximales de abanico, areniscas secuenciales fluviales y limos de llanura de inundación.

La parcela objeto de estudio se encuentra situada sobre un área caracterizada por materiales del Terciario donde se repiten conglomerados, areniscas, arenas, limolitas y argilitas con algunos tramos de alto contenido en carbonatos.

Los tramos más basales están constituidos por alternancias de arenas limosas, limolitas y arcillas, algunas con cemento carbonatado. Los tramos medios son más ricos en niveles conglomeráticos discontinuos y canaliformes, manteniéndose esta característica en los tramos superiores.

Estas litologías están ordenadas generalmente en secuencias granodecipientes, cuya base suele estar formada por conglomerados, culminando en ocasiones con calizas micríticas arenosas o limosas

Los conglomerados, con base fuertemente erosiva, son principalmente paraconglomerados de clastos areniscosos, cuarcíticos y carbonatados cretácicos y paleozoicos. Están en forma de lentejones, de hasta algunos metros de espesor, en ocasiones con estratificación cruzada de mediana y gran escala.

COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS EN LAS PRINCIPALES UNIDADES O ZONAS

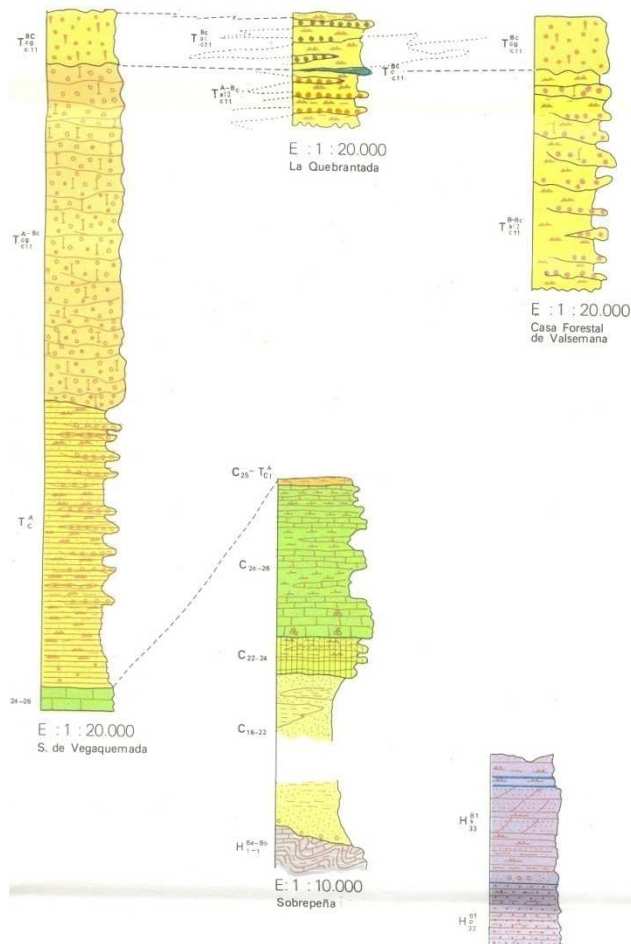
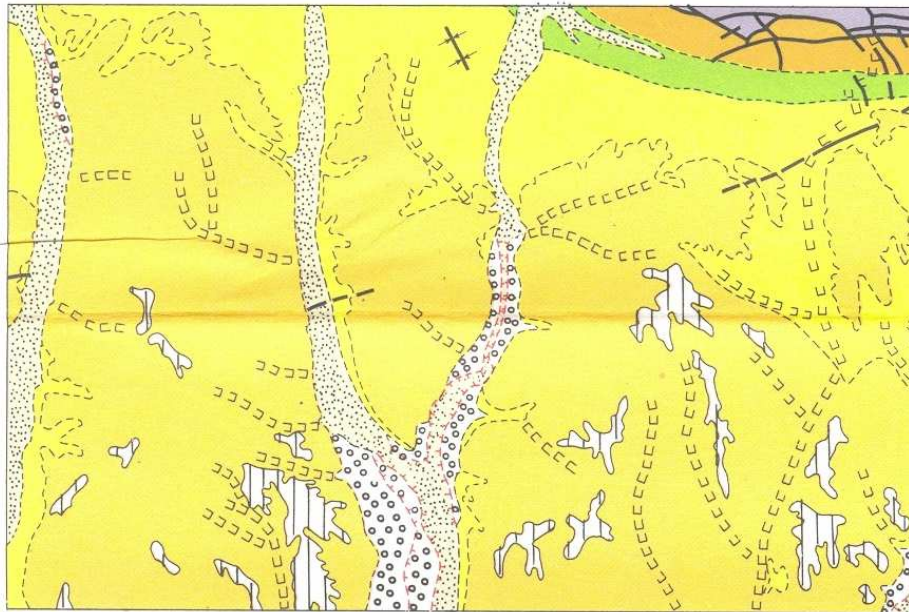


Figura 3.2.1- Columnas estratigráficas.

ESQUEMA MORFOESTRUCTURAL



Escala 1 : 250.000

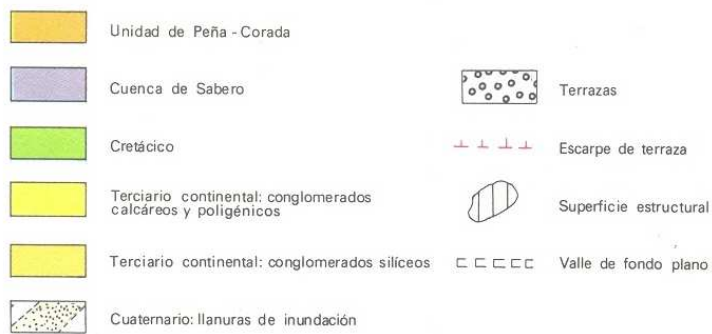


Figura 3.2.2- Esquema morfoestructural.

3.3 Hidrogeología.

Los terrenos terciarios presentes en el entorno de Vegas del Condado presentan un interés hidrogeológico asociado a las alternancias de porosidad elevada con otros de muy baja permeabilidad. La discontinuidad de elementos conglomeráticos y arenosos son elementos en contra de este interés hidrogeológico.

Existen algunos manantiales parcialmente captados para uso local, con caudales reducidos y sujetos a variaciones estacionales y/o climáticas.

4 Legislación aplicable.

La normativa aplicable para la ejecución del presente proyecto es la siguiente. En cada apartado correspondiente de la memoria y en los pliegos de condiciones se indica la normativa particular aplicable a cada aspecto.

- Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.
- Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Instrucciones Técnicas Complementarias de R.G.N.B.S.M.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
- Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León. (BOCyL 14-04-03).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1 389/1977, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- R.D. 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del dominio público hidráulico de la Ley de Aguas.

- RBT (R.D. 842/2002 del 2 de agosto), reglamento electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 314/2006 de 17 de marzo de 2006.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. RITE (R.D. 1027/2007 de 20 de julio, BOE del 29 de agosto de 2007).
- Corrección de errores del RITE (BOE del 28 de febrero de 2008).
- R.D. 1826/2009 de 27 de noviembre, por el que se modifica el RITE, aprobado por el real decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- R.D. 1627/1997 de 24 de octubre de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- R.D. 486/1997 de 14 de abril de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Reglamento (CE) 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo que regula la contención, uso, recuperación y destrucción de los gases fluorados de efecto invernadero (HFCs).
- Reglamento de aparatos a presión e instrucciones técnicas complementarias MIE-AP.
- R.D. 1244/1979, de 4 de abril de 1979, del Ministerio de Industria y Energía.
- Norma alemana DIN V 4979-7 pruebas de presión de las sondas geotérmicas.
- Norma UNE –EN 1057 para tuberías de cobre.
- Norma UNE 53-294-92 para tuberías de polietileno.
- Norma UNE 53-399-93 para tuberías de PVC.
- Norma UNE 53-381-89 para tuberías de polietileno reticulado.

5 Descripción del aprovechamiento geotérmico-sistema cerrado.

La geotermia aprovecha el calor que proviene del interior de la tierra y se transmite por la corteza terrestre. Existe siempre una corriente térmica del interior de la tierra que se transmite por la corteza hacia el espacio. Esta energía es por tanto renovable. El sol afecta solamente a la capa más alta de la tierra. A partir de los 15m de profundidad el subsuelo tiene una temperatura constante de aprox. 12°C durante todo el año. No influyen los cambios de temperatura en verano o invierno. La temperatura aumenta con la profundidad, por cada 30m sube 1 °C. En 100 m existe una temperatura de aprox. 15°C.

Esta temperatura constante del subsuelo la aprovechamos para calentar y enfriar. En invierno cuando el aire esté frío, el subsuelo estará más caliente y en verano cuando el aire esté caliente, el subsuelo estará más frío. Por lo tanto la diferencia de la temperatura para calefactar y refrigerar entre el subsuelo y el edificio es más pequeña que la diferencia de la temperatura entre el aire exterior y el edificio. Esto significa un gran ahorro energético a la hora de climatizar un edificio.

La profundidad de la perforación depende del terreno y de la potencia máxima de la bomba de calor (BdC).

En el sistema cerrado, como el caso que nos ocupa, en la perforación se introduce la sonda geotérmica, cuatro tubos de polietileno (PE) en forma de dos "U". Se llama sistema cerrado porque el mismo líquido baja por dos tubos y sube recalentado por los otros dos. La sonda capta la energía del subsuelo mediante una salmuera que es una mezcla de 75% de agua y 25% de anticongelante. La salmuera se calienta - absorbe energía - y la transmite a la BdC. Por cada metro de perforación la sonda capta aprox. 50W dependiendo del terreno.

El sistema cerrado se puede instalar en cualquier sitio y no necesita ningún mantenimiento. No existe intercambio con aguas freáticas ni afección a las mismas. Por lo tanto no tiene arqueta y no se ve ninguna parte de la instalación en el exterior. Como los tubos de PE no están expuestos a la radiación ultravioleta del sol ni cambios de temperaturas fuertes, la vida útil de la instalación es prácticamente ilimitada.

Dada la poca consistencia de los materiales que se prevé atravesar, está prevista la perforación completa de los cuatro sondeos mediante rotación y colocación de revestimiento, tubería roscada de acero de entre 152 mm (6") y 178 mm (7"). Si al atravesar los terrenos cuaternarios, se alcanzara el sustrato mioceno, por el interior del revestimiento se realizaría la perforación mediante roto percusión con el martillo en fondo con un diámetro de perforación de entre 127 mm (5") y 152 mm (6"). Después de haber realizado la perforación de cada uno de los sondeos, se sacarán las barrenas y se introducirá inmediatamente la sonda geotérmica. Ésta, consiste en dos tuberías de PE de doble "U" de 32mm. La cabeza de la sonda será robusta, gracias a una pieza maciza de PE 100, soldada con termofusión que une los cuatro tubos. Finalmente se recuperará la tubería roscada.

Es importante que la sonda tenga el mejor contacto posible con el terreno para una transmisión térmica óptima. Por lo tanto se rellena la perforación con una mezcla especial de cemento y bentonita. Se cementará la perforación desde abajo hacia arriba mediante una bomba inyectora con mortero especialmente dosificado para uso geotérmico de alta conductividad térmica . De esta manera no queda espacio de aire entre la sonda y el terreno. La cementación, impedirá por otro lado cualquier intercambio de aguas y/o alteración alguna de los posibles acuíferos.

6 Descripción de los trabajos a realizar.

La instalación geotérmica se compone de dos bombas de calor geotérmicas de 80kW de potencia, más un sistema de intercambio con el subsuelo compuesto por 18 perforaciones de hasta 100m.

Las perforaciones se realizarán mediante rotopercusión con aire y agua a un diámetro de 152mm, sin utilización de lodos de perforación, revistiendo mediante tubería metálica provisional de profundidad variable en función de las características geológicas del terreno.

En los sondeos se van a instalar sondas dobles de PEAD100 de 32 x 2,9mm (diámetro y grosor).

Anterior y posteriormente a la instalación de las sondas en los pozos, se realizarán pruebas de presión para asegurar la integridad de las sondas y su buen funcionamiento. Siendo así también para las conexiones hasta la sala técnica donde se conectarán a la bomba de calor geotérmica.

Los colectores de los pozos con la sala técnica se realizarán en PEAD, con uniones mediante electrosoldadura o por sistema que recomiende el fabricante.

Las perforaciones serán selladas mediante mortero geotérmico de alta conductividad térmica, mediante un macarrón de inyección de 25mm para impermeabilizar, sellar y compactar la perforación, para asegurar buen contacto térmico entre el subsuelo y el intercambiador.

Las sondas estarán rellenas con agua, sin necesidad de introducir etilenglicol en el sistema, dado que no se generan bajas temperaturas en su funcionamiento que pudiesen producir puntos de congelación.

Los materiales procedentes de la perforación, que se compone de terreno natural mezclado con agua subterránea, generará un volumen aproximado de 40 m³ de detritos. Serán decantados en contenedores o balsas para poder separar la parte sólida de la parte líquida y así facilitar su gestión y transporte a centro autorizado.

El riesgo de accidentes se ve limitado a la actividad relacionada con las perforaciones, para ello los operarios dispondrán de los EPI's relacionados con estas actividades (casco, gafas, tapones para los oídos, guantes, botas de seguridad, etc).

Procedimiento de perforación e inyección del sondeo:

1. Perforación con revestimiento simultáneo hasta los 100m de profundidad.
2. Extracción de la sarta del interior de la perforación.
3. Introducción de la sonda y tubo de inyección.
4. Relleno del sondeo en sentido ascendente desde el fondo de la perforación.
5. Extracción de la tubería de revestimiento.

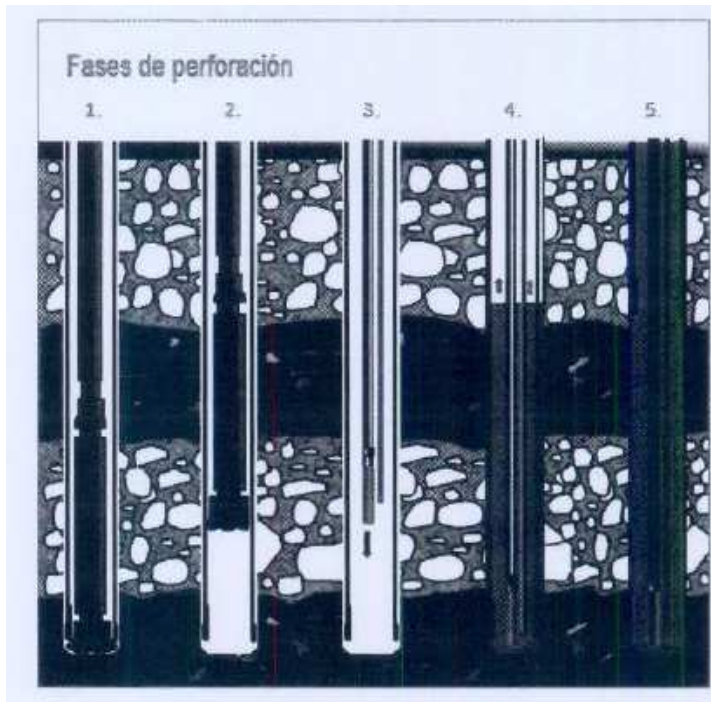


Figura 6.1. Fases de perforación geotérmica.

El fluido caloportador será agua, con glicol. Como se ha mencionado anteriormente, la instalación incluye glicol en el fluido caloportador para evitar congelaciones de conductos en superficie en caso de parada prolongada en época invernal.

6.1 Protocolo general de los sondeos geotérmicos.

- Antes de iniciar la perforación del sondeo confirmar que se dispone de suficiente caudal de agua y/o aire comprimido y capacidad para recoger los detritos o lodos de perforación.
- Seleccionar la sonda de la zona de acopio y confirmar su longitud total.
- Devolver al proveedor cualquier sonda con golpes o rozaduras.
- Cumplimentar el estadillo o registro de control de la sonda.

- Realizar prueba de presión a la sonda con aire o agua durante al menos 15 minutos manteniendo la presión máxima descrita por el fabricante.
- Registrar profundidad de la perforación comprobando el número de tramos de varillaje introducidos.
- Llenar la sonda de agua en su totalidad y lastrarla si es necesario. Añadir la tubería de inyección de mortero fijando su extremo a unos 3 metros del final de la sonda.
- Introducir la sonda en el sondeo lentamente y con cuidado, evitando que la devanadora torsione el tubo y roce con la tubería metálica o emboquille de la perforación.
- Frenar la introducción de la sonda cuando falten 10 metros por introducir para evitar que la sonda se pierda en la perforación.
- Introducir lentamente los últimos 10 metros confirmando que se ha introducido la totalidad de la sonda al finalizar la operación.
- Recordar que deben sobresalir al menos 0,5 m de sonda y 1,5 m como máximo para validar la profundidad.
- Si no se introduce la cantidad de sonda necesaria se procederá a retirar la misma y enrollarla en la devanadora, limpiar el sondeo bien recirculando lodo o aire e incluso re-perforando para aumentar el diámetro si fuese necesario.
- Antes de comenzar la inyección del mortero confirmar que la sonda no está estrangulada ni doblada recirculando agua por su interior.
- Si se sospecha que la sonda puede haberse dañado por el roce con el terreno o con aristas de las rocas realizar una prueba de presión/estanqueidad de al menos 5 minutos de duración.

- Inyectar el mortero empleando la manguera de inyección o un varillaje auxiliar hasta enrasar con la boca del sondeo.

- Realizar prueba de presión/estanqueidad de al menos 5 minutos de duración y siguiendo las instrucciones del fabricante/proveedor. La duración y la presión de la prueba de estanqueidad se ajustará a las condiciones litológicas, dificultad de introducción de la sonda, calidad del material (PEAD o PEX), presión nominal de trabajo (8, 10, 16, 21 atm), protección en cabeza de la sonda, etc.

- Pasadas unas horas rellenar con mortero el descenso que se haya podido producir por sedimentación y fraguado del mismo. En caso de un descenso acusado informar al responsable del proyecto.

7 Test de respuesta geotérmico (TRG/TRT).

Aunque no se haya realizado para el proyecto en cuestión este ensayo, se considera recomendable la realización para casos similares. El sondeo geotérmico se dimensionará a partir de los datos de consumo energético del invernadero, su ubicación geográfica y la superficie que se desea climatizar. En pequeñas plantas estos parámetros normalmente son estimados. Sin embargo para plantas mayores debe ser medido in situ. Para hacer un cálculo más exacto del proyecto, es preciso hacer un test de respuesta térmica del terreno. Así podremos dimensionar de manera correcta y fiable la instalación geotérmica que se va a colocar. El sondeo realizado se reutiliza en la instalación. Mencionar que el sondeo piloto se realiza en el futuro campo de sondeos y se realiza con el mismo tipo de sonda, diámetro y relleno que los sondeos constructivos, con lo cual se asegura un comportamiento igual al que tendrán los futuros sondeos.

Es una prueba que nos sirve para determinar la conductividad térmica del subsuelo, la resistencia del terreno y, finalmente, dimensionar el intercambiador vertical que va a soportar la calefacción y refrigeración. A partir de aquí se realiza el cálculo del número de perforaciones en función del terreno y la potencia a instalar. Es recomendable realizar un test de respuesta térmica si la instalación geotérmica va a tener más de 10 sondas geotérmicas.

Durante más de 48 horas, se recogen los datos de temperatura en un ordenador conectado a dos sondas de temperatura, que medirán la entrada y salida de la perforación. Éstas sondas están en contacto con el fluido que circula en una primera perforación hecha para ejecutar el TRT. La temperatura mínima tomada en España suele estar en torno a 15 grados centígrados y la máxima alrededor de 30. Una condición importante es que durante todo el período del experimento la potencia de inyección de calor sea constante y conocida.

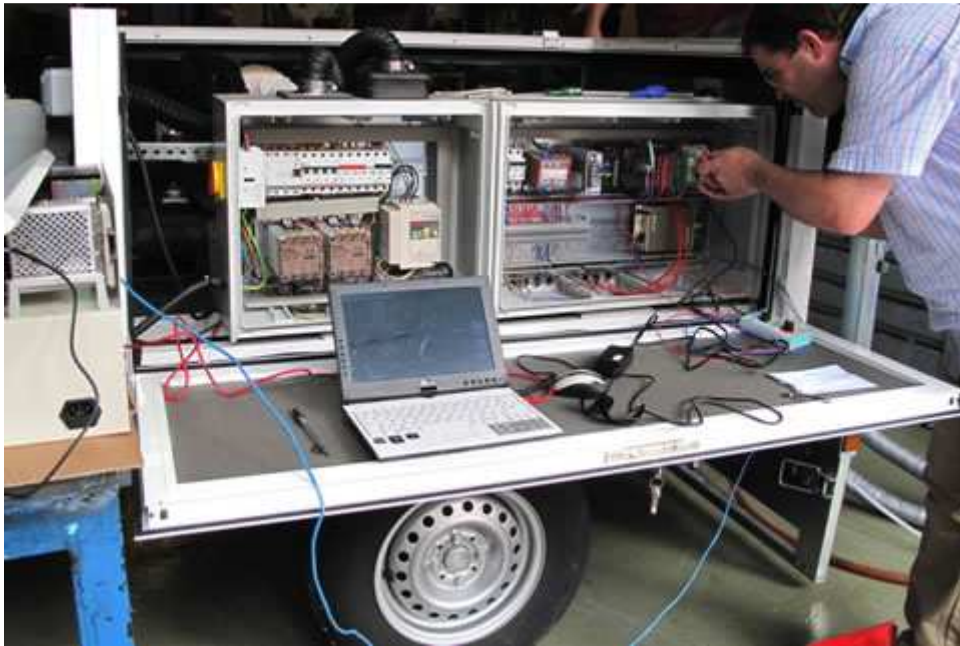


Figura 7.1- Sistemas para la realización de Test de Respuesta Térmica.

Hay una primera prueba, donde no se aplica calefacción, para conocer la temperatura del terreno (entre 14-20 °C) y después, se conectan unas resistencias, lo que provoca que la temperatura vaya ascendiendo, subiendo aproximadamente hasta 30°C. En este punto se analiza cómo varía esta temperatura a lo largo del tiempo. A menor elevación de la temperatura, mejor conductividad térmica presenta el terreno.

El test de respuesta térmica se inicia haciendo circular agua a través de la sonda introducida en dicha perforación. El ordenador registra los datos de temperatura de entrada y salida y podemos elaborar gráficos con la evolución de las misma, el caudal y la presión del fluido. A partir de aquí, el ingeniero puede dimensionar con exactitud el número de perforaciones y su separación necesaria para desarrollar un proyecto geotérmico. Una vez completadas todas las fases anteriores se concreta el diseño final de la instalación y, finalmente, la ejecución geotérmica completa.

8 Bomba de calor geotérmica e intercambiadores.

FUNDAMENTOS FÍSICOS

Una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Dado que, de forma natural, el calor fluiría en sentido contrario del foco caliente al frío hasta alcanzar un equilibrio de temperaturas, es necesario aportar energía para lo cual suele emplearse un compresor accionado por un motor.

Las bombas de calor de uso más extendido están basadas en ciclos de compresión de un fluido refrigerante; sus componentes esenciales son los siguientes:

- ▣ El refrigerante: la sustancia que circula por la bomba de calor y que se encarga, alternativamente, de la absorción, transporte y liberación de calor.
- ▣ La válvula de inversión: controla la dirección del flujo del refrigerante en la bomba de calor.
- ▣ El evaporador: un intercambiador encargado de extraer el calor, en el cual el refrigerante absorbe el calor de su entorno y hierve para convertirse en vapor a baja temperatura.
- ▣ El compresor: comprime las moléculas del gas refrigerante, incrementando su temperatura.

- ▣ El condensador: un intercambiador encargado de ceder calor, en el que el refrigerante emite calor a su entorno y se transforma en un líquido.
- ▣ La válvula de expansión: libera la presión creada por el compresor.

La ventaja de estos dispositivos frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío) en el aire, el agua o la tierra para proporcionar calor a las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica. Cuando se realiza la transferencia de calor en sentido inverso, es decir, desde el recinto que requiere frío hacia el ambiente que se encuentra a temperatura superior, la bomba de calor trabaja en modo refrigeración.

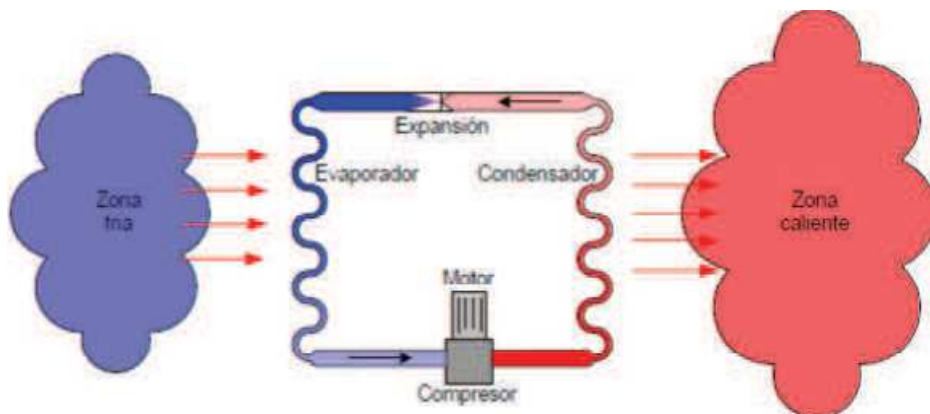


Figura 8.1.- Componentes básicos de una bomba de calor por compresión en régimen de calentamiento.

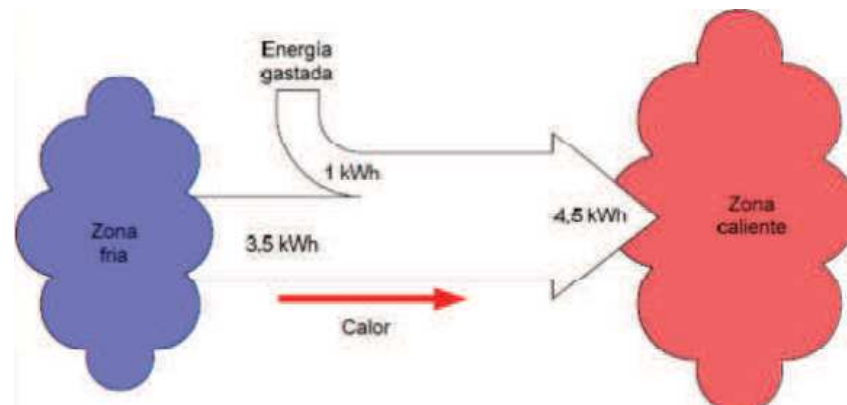


Figura 8.2.- Balance de energía de una bomba de calor por compresión en régimen de calentamiento.

Como cifras básicas de referencia se puede afirmar que, para una bomba de calor que opera en régimen de calefacción, por cada kWh de trabajo del compresor se introducen en el espacio a calentar 4,5 kWh de calor, de los cuales 3,5 kWh proceden del terreno, lo que significa que el consumo de energías convencionales es considerablemente inferior al de la energía geotérmica que se obtiene del subsuelo; el consumo de electricidad de la bomba de calor geotérmica se cifra en 0,25-0,30 kWh por cada kWh de calefacción producido (Mands, E.; Sanner, B. Shallow Geothermal Energy. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar).

Cuando la máquina opera en modo calefacción, en el evaporador el fluido refrigerante, a baja presión y temperatura, absorbe el calor transportado desde los colectores dispuestos en el subsuelo, que estarán recorridos por un fluido termoportador que puede ser la propia agua del acuífero (circuito abierto) o un fluido específico (circuito cerrado), generalmente una mezcla de agua y glicol, éste último para evitar la congelación de la mezcla.

Al absorber el calor, el fluido refrigerante se evapora completamente a presión constante. A continuación, el refrigerante, ya en estado vapor, pasa a un compresor accionado por un motor, que eleva su presión, temperatura y contenido energético. El refrigerante pasa

entonces al condensador, en el que cede a presión constante su energía en forma de calor al fluido de distribución de calefacción del recinto que se quiere calentar, como puede ser el agua que circula por el suelo radiante del invernadero. Debido a esta transformación, al salir del condensador el refrigerante vuelve a estado líquido, para pasar seguidamente a través de la válvula de expansión, donde se acondiciona el fluido rebajando su presión y temperatura hasta, formado por una mezcla de vapor y líquido, con predominio de este último, completándose así el ciclo.

El calor Q_2 extraído al terreno a baja temperatura T_2 es recogido por el refrigerante en el evaporador para ser transportado hacia el interior del recinto. Sin embargo, para poder ceder ese calor a una temperatura más alta T_1 , es necesario subir la presión y temperatura del refrigerante por medio de un compresor, cuyo trabajo será recibido en forma de energía por el refrigerante. De este modo, el calor Q_1 finalmente cedido en el interior del recinto es mayor que el extraído al terreno, cumpliéndose que $Q_1 = Q_2 + W$.

El rendimiento o eficiencia energética de la bomba de calor es el ratio que indica la relación entre la potencia térmica producida por la bomba de calor y la potencia eléctrica consumida para suministrarla. En modo calefacción, el rendimiento de la bomba o COP (Coefficient of Performance) vendría, pues, definido como la cantidad de calor que se introduce en el recinto por cada kWh consumido en el compresor, es decir:

$$COP = \frac{Q_1}{W}$$

En modo refrigeración, el rendimiento de la bomba o EER (Energy Efficiency Ratio) vendría definido como la cantidad de calor que se consigue extraer del recinto a refrigerar por cada kWh consumido en el compresor, es decir:

$$EER = \frac{Q_2}{W}$$

Ello significa que, por ejemplo, para un COP = 5, de cada 5 kWh introducidos en el recinto, 4 procederían del terreno y 1 de la propia energía que consume el compresor, mientras que para un EER = 5, por cada kWh del compresor se consigue evacuar 4 kWh del interior del recinto a refrigerar.

En síntesis, la bomba de calor geotérmica extrae, pues, calor del subsuelo a una temperatura relativamente baja, aumentándola, mediante el consumo de energía eléctrica, para posibilitar su uso posterior en sistemas de calefacción. Asimismo, existe la opción de invertir el proceso en verano, inyectando en la tierra el calor absorbido en la refrigeración de la instalación a climatizar. Esta tecnología representa, en la mayoría de los casos, la única posibilidad de aprovechamiento de los recursos de muy baja entalpía ($T < 30 \text{ }^\circ\text{C}$) asociados a la denominada geotermia somera, presentes prácticamente bajo cualquier terreno, y es, sin duda, la que mejor se adapta a las necesidades de climatización de edificios. Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, la bomba de calor geotérmica utiliza entre un 25% y un 50% menos de electricidad que los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración, reduciendo el consumo energético y las emisiones asociadas de un 45% a un 70%, si se comparan con éstos.

También existe la posibilidad de aprovechar el calor residual de procesos industriales como foco frío, circunstancia que permite disponer de una fuente a temperatura conocida y constante que mejora el rendimiento del sistema.

Según se indicó anteriormente, los sistemas que conectan la bomba de calor geotérmica con el subsuelo son, básicamente, de dos tipos: abiertos o cerrados. Su elección dependerá de

diversos factores, tales como las características geológicas e hidrogeológicas del terreno, dimensiones y uso de la superficie disponible, existencia de fuentes potenciales de calor y demanda de calefacción y refrigeración de los edificios o instalaciones.

SISTEMAS ABIERTOS

Se caracterizan porque el agente portador del calor es el agua subterránea que actúa, además, como medio para el intercambio del mismo. Estos sistemas precisan, al menos, de dos sondeos: uno de extracción y otro de inyección. El rendimiento de los sondeos de extracción debe ser el necesario para garantizar a largo plazo el flujo nominal necesario para el funcionamiento de las bombas de calor asociadas al sistema; ello supone del orden de de 0,25 m³/h por cada kW de potencia térmica. Dicho rendimiento dependerá de las características geológicas locales. En el caso de que el conocimiento previo de estas últimas fuese insuficiente, sería necesario perforar un primer sondeo con el fin de realizar los oportunos ensayos de bombeo o, incluso, la aplicación de técnicas geofísicas; dicho sondeos se emplearía posteriormente como pozo de extracción o inyección.

SISTEMA ABIERTO (Sondeos de extracción de aguas subterráneas)	SISTEMA CERRADO (Intercambiadores de calor verticales)
Transporte de calor desde el subsuelo al pozo o viceversa por diferencia de presión (bombeo).	Transporte de calor desde el subsuelo al pozo o viceversa por diferencia de temperatura.
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad con un coste relativamente bajo • Temperatura de la fuente de calor relativamente alta / bajo nivel de la fuente fría. 	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Sin mantenimiento regular. • Seguro. • Puede utilizarse prácticamente en cualquier lugar.
Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de los pozos. • Requiere de un acuífero con suficiente rendimiento. • La composición del agua debe ser investigada. 	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada por pozo. • Temperatura de la fuente de calor relativamente baja / alto nivel de la fuente fría.

Figura 8.3.- Ventajas e inconvenientes de los sistemas abiertos y cerrados.

La calidad del agua subterránea puede tener una influencia considerable en el diseño y operación de la planta, especialmente en el caso de los pozos, por lo que debe ser objeto de una investigación previa.

Las aguas con un potencial rédox bajo y las que presentan contenidos apreciables de hierro y manganeso, deben ser objeto de especial atención con el fin de prevenir incrustaciones, al igual que la de pH elevado, para evitar la precipitación de carbonatos. Asimismo, debe valorarse el riesgo de corrosión de la instalación asociado a su contenido salino. En tal sentido, todos los elementos metálicos que entren en contacto con el agua subterránea, tales como bombas sumergidas, tuberías, accesorios y válvulas, intercambiadores de calor, etc. deberán ser resistentes a la corrosión. También podría ser necesaria la instalación de filtros para proteger los intercambiadores.

Estos sistemas, bastante difundidos en España sobre todo en zonas con acuíferos aluviales con buenas productividades y niveles piezométricos someros, son sencillos, con bajos costes de inversión y elevados rendimientos, aunque con el inconveniente de que su explotación está sujeta a una tramitación administrativa compleja y dilatada.

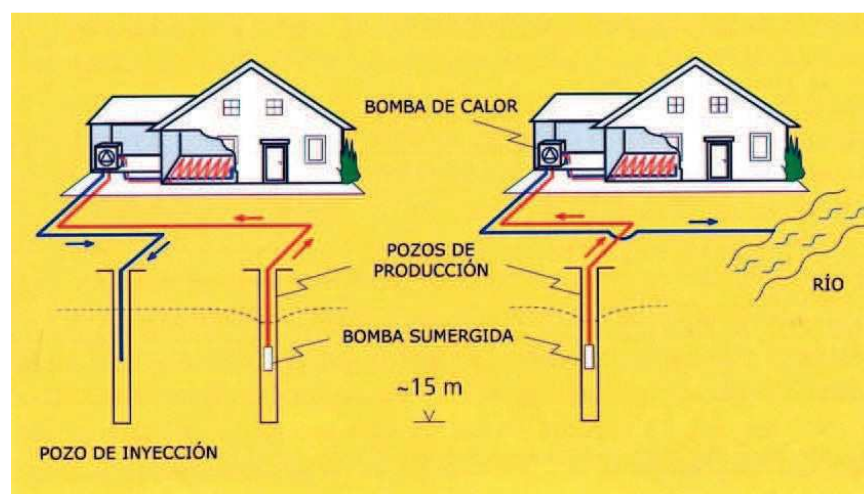


Figura 8.4.- Diagramas de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en sistema abierto.

SISTEMAS CERRADOS

Se basan en el empleo de intercambiadores enterrados que aprovechan el calor acumulado en los materiales de los niveles más superficiales de la corteza terrestre. En el interior de dichos intercambiadores circula, en circuito cerrado, un fluido termoportador en los sistemas abiertos era el agua subterránea, que cede la energía captada del subsuelo a la bomba de calor y viceversa. Obviamente, en estos sistemas las propiedades térmicas del terreno desempeñan un papel esencial.

La energía aportada por la radiación solar, precipitaciones y otros efectos atmosféricos es transferida diariamente a y desde la superficie de la tierra, produciéndose un equilibrio térmico. Como consecuencia de este equilibrio, la temperatura del suelo a ciertas profundidades aproximadamente 10 metros se mantiene constante y se aproxima a la temperatura media anual del aire ambiente en esa zona concreta. En este tramo superior la temperatura variará dependiendo de la profundidad y de las propiedades térmicas del suelo, a saber: la conductividad térmica, la capacidad calorífica y la difusividad térmica.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir calor. Se puede definir como el calor que atraviesa en la dirección transversal un espesor de 1 m del material como consecuencia de una diferencia de 1 grado entre los extremos opuestos. Se expresa en $W/m^{\circ}C$ o W/mK . La capacidad térmica o calorífica es el cociente entre el calor que se suministra a un sistema y la variación de temperatura provocada. Se expresa en J/m^3K .

La difusividad térmica se define como el ratio entre la capacidad de conducción del terreno y la capacidad térmica del terreno. Se expresa en m^2/s . En la literatura pueden encontrarse

tabla de valores de los dos primeros parámetros para una amplia variedad de rocas y materiales.

Hasta una profundidad de unos 50 m, la temperatura del terreno es prácticamente constante, y viene determinada por el intercambio térmico con la atmósfera y el sol, así como, en su caso, por la presencia de aguas subterráneas. Por debajo de dicha profundidad y hasta unos 100 m existe un gradiente geotérmico variable, al estar aún las temperaturas bajo la influencia de dichos fenómenos de intercambio superficial.

A partir de 100 m suele establecerse ya un gradiente geotérmico claro, lo que deviene en un incremento de la temperatura con la profundidad. Dicho incremento puede ser muy variable según las condiciones tectónicas y propiedades térmicas de los materiales unos 15-30 °C/km en áreas tectónicamente estables y medios sedimentarios y, además, puede presentar, según las zonas, una considerable heterogeneidad incluso sobre distancias horizontales pequeñas. Estas circunstancias deberán tenerse en cuenta a la hora de diseñar y dimensionar los intercambiadores geotérmicos para aplicaciones de muy baja entalpía basados en sistemas verticales cuya profundidad exceda de los 100 m.

Los múltiples factores que definen el diseño de los intercambiadores de calor enterrados hacen factibles distintas variantes para un mismo sistema, entre las que debe seleccionarse la que mejor se adecúe al proyecto que se pretenda realizar, así como la que proporcione el máximo rendimiento de la instalación al menor coste posible. El mercado ofrece diversos programas comerciales de diseño de estos dispositivos; entre ellos, el propuesto por la International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA) puede considerarse como una buena referencia metodológica, y como tal fue escogido por el IDAE para su Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica.

El método IGSHA considera que un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial. Es un método de cálculo estático que asume que el sistema funciona durante un tiempo determinado a una carga constante y con el suelo a la temperatura más desfavorable, es decir, el mes de enero para calefacción y el mes de julio para refrigeración, y con una temperatura de agua fija. Durante los restantes meses, la temperatura del aire será más moderada y, por lo tanto, la carga calorífica o frigorífica será menor. Además, el suelo no estará tan frío (en invierno) o tan caliente (en verano), lo que hará que la temperatura del agua sea más moderada y el sistema funcionará con un mayor rendimiento.

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador de calor enterrado, en la medida en que determinan el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador, además de fijar el rendimiento del sistema (COP) de acuerdo con sus curvas características de potencia-temperatura. La selección de la bomba de calor se realiza a partir de un cálculo de cargas térmicas de acuerdo a las exigencias de diseño y dimensionado especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE).

Los intercambiadores de calor en circuito cerrado suelen clasificarse en dos grupos según su disposición en el terreno: horizontales y verticales.

□ **Intercambiadores horizontales.**

Son los sistemas cerrados más fáciles de instalar, si bien para alcanzar el rendimiento proyectado requieren de superficies de terreno suficientemente amplias. Por ello, muy rara vez se utilizan en las instalaciones urbanas o suburbanas mientras que, en entornos rurales o

en regiones de baja densidad de desarrollo, estos intercambiadores pueden tener ventajas sobre los colectores geotérmicos verticales. De hecho, la mayoría de los proyectos basados en intercambiadores horizontales se refieren a viviendas unifamiliares o a pequeñas instalaciones comerciales, mientras que los sistemas verticales son apropiados para grandes instalaciones, puesto que permiten una perfecta integración en la edificación sin comprometer grandes superficies de terreno.

En los sistemas horizontales, la realización de complejos análisis térmicos para diseñar los colectores no resulta justificada, entre otros motivos debido a que las mediciones de temperatura a corto plazo resultan, en estos casos, escasamente útiles, por cuanto están fuertemente condicionadas por las variaciones estacionales. En la práctica, la información que es imprescindible conocer para diseñar un sistema de colectores horizontales es, básicamente, la siguiente:

- Energía térmica que se necesita importar y exportar anualmente para satisfacer la demanda.
- Promedios de temperatura, radiación solar global, lluvia y nieve en la zona.
- Características del suelo.
- Productividad térmica estimada del suelo y posibilidad de mejorarla.
- Adecuación de la superficie de terreno disponible para proporcionar un rendimiento aceptable de la bomba de calor geotérmica.

Los intercambiadores horizontales pueden clasificarse de diferentes modos. Considerando el número de tubos, los hay sencillos, dobles, etc. y, según la dirección del fluido, se construyen en serie o en paralelo. Asimismo, hay que citar las configuraciones tipo slinky, una variante

de la horizontal consistente en disponer la tubería formando bucles o espiras, al objeto de poder instalar la mayor longitud de intercambiador con la menor excavación posible.

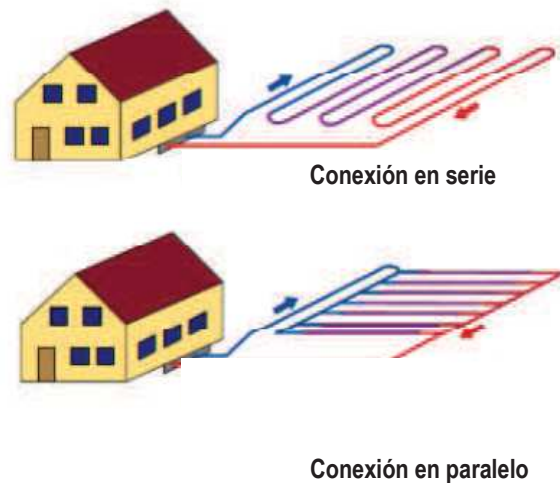


Figura 8.5.- Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal en serie y en paralelo.

En estas distribuciones con alta densidad de tuberías, lo habitual es retirar completamente la capa superficial del terreno, colocar las conducciones y, finalmente, cubrirlas con la tierra retirada. En el Norte de Europa y de América, donde el terreno es más barato, se prefiere un circuito más amplio, con tuberías situadas en zanjas .



Figura 8.6.- Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal de un bucle.

Las tuberías, normalmente de polietileno, de 25 a 40 mm de diámetro, por las que circula el líquido de intercambio térmico agua o agua glicolada se instalan en zanjas a una profundidad mínima de 0,90 metros, en disposiciones que incluyen hasta seis tubos por zanja, si bien lo habitual es que sólo se coloquen dos.

Para solventar los problemas de espacio que, en ocasiones, se plantean con este tipo de colectores, se han desarrollado unos intercambiadores de calor especiales especialmente adecuados para sistemas que trabajan con bombas de calor para usos en calefacción y refrigeración. Un tipo de estos intercambiadores, los de tipo slinky antes citados, se basa en la colocación de bobinas de polietileno en el terreno, extendiendo las sucesivas espiras e intercalando tierra seleccionada o arena. Dichas espiras pueden disponerse horizontalmente, en una zanja ancha, o verticalmente, en una zanja estrecha.



Figura 8.7.- Sistemas cerrados con intercambiadores de calor de tipo bobina.

Estos colectores son ampliamente utilizados en EEUU pero sólo uno de sus tipos, el colector en zanja (trench collector), ha alcanzado cierta difusión en Europa, sobre todo en Austria y en el Sur de Alemania. En este caso, varias tuberías de pequeño diámetro se sujetan a las paredes inclinadas de una zanja, a varios metros de profundidad



Figura 8.8.- Sistema cerrado con colector en zanja

La incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre constituye el principal medio de recarga térmica de estos sistemas, por lo que es importante no cubrir la superficie situada por encima de las tuberías situadas en el terreno. Normalmente, estos sistemas tienen un coste inferior al que supone la perforación de sondeos, pero presentan el inconveniente de requerir una considerable superficie con espesores ripables superiores a 1 metro, lo que no siempre es fácil de conseguir, además de estar sometidos a importantes variaciones de temperatura y humedad que afectan al rendimiento estacional.



Figura 8.9.- Intercambiador horizontal de lazo simple.



Figura 8.10.-Intercambiador horizontal en bucles de slinky horizontal.

□ Intercambiadores verticales.

Los sistemas cerrados con intercambiador vertical requieren la perforación de sondeos de profundidad variable normalmente, entre 60 y 200 metros y pequeño diámetro de 10 a 15 cm, en los que se introducen colectores de calor un doble tubo en el caso más sencillo por los que circula el fluido termoportador. Estos dispositivos verticales de captación de calor se denominan sondas geotérmicas.

La transferencia de calor entre el fluido termoportador y el terreno circundante depende de la disposición del circuito, del calor transferido por convección en los conductos y de las propiedades térmicas de los distintos materiales implicados en el proceso térmico. Las resistencias térmicas asociadas con estos diferentes elementos pueden agruparse en dos: la resistencia térmica entre el fluido portador de calor y la pared del pozo comúnmente denominada como resistencia térmica del pozo, y la resistencia térmica del terreno que rodea a dicha pared. Es importante señalar que la influencia del tipo seleccionado de intercambiador de calor del pozo es baja en comparación con la influencia del terreno circundante.

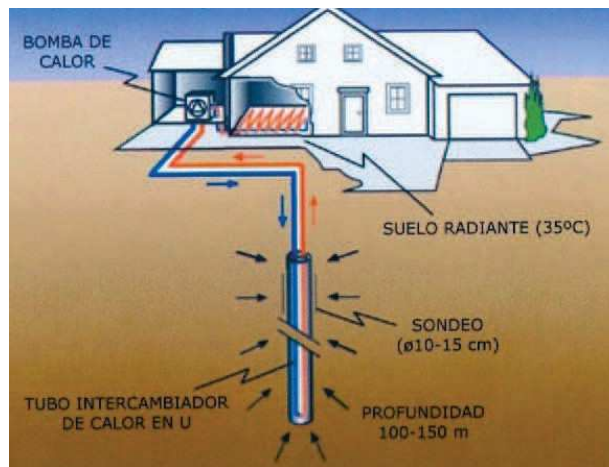


Figura 8.11.- Sonda geotérmica

La fuente de recarga de la energía térmica captada por los intercambiadores verticales es, en la zona superficial, la radiación solar y, en la zona inferior, el flujo de calor geotérmico, con cierta influencia, en su caso, del agua subterránea circulante poco importante en la mayoría de los casos o de las aguas percoladas. Durante el funcionamiento de la bomba de calor geotérmica, se registra un descenso de la temperatura del terreno en torno al sondeo, al que hay que unir el derivado de la resistencia térmica del propio sondeo antes mencionada, del que son responsables el material de relleno del mismo y las paredes del intercambiador.

Para reducir las pérdidas de temperatura en los sondeos, éstos deben rellenarse con algún material que favorezca la transmisión de calor a los tubos captadores situados en su interior, además de la circulación del agua que pudiera haber en el terreno debido a la existencia de algún nivel freático a poca profundidad, o bien a la presencia de aguas someras procedentes de filtraciones de agua de lluvia. Teniendo en cuenta que la presencia de agua en el terreno aumenta considerablemente la capacidad para transmitir el calor geotérmico, en el caso de que en el sondeo no la haya, lo más recomendable es un relleno de gravas, arenas permeables u otros materiales térmicamente mejorados para incrementar la conductividad térmica y disminuir las referidas pérdidas.

Para el diseño de una sonda geotérmica, se requiere el conocimiento previo de la conductividad térmica del terreno, la humedad natural del suelo, la presencia o no de aguas subterráneas y el tipo de requerimientos de la instalación prevista. Además, resulta clave la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda. En los casos en que se precisan potencias mayores a las habituales entre 20 y 70 W/m, pueden emplearse campos de sondas geotérmicas, en número de 4 a 50 y profundidades que oscilan entre 50 y 200 metros, dependiendo de la potencia requerida y de las condiciones geológicas locales. Los colectores de las sondas pueden disponerse junto a las edificaciones o debajo de ellas, o bien pueden situarse en el exterior, en zanjas realizadas en el terreno.

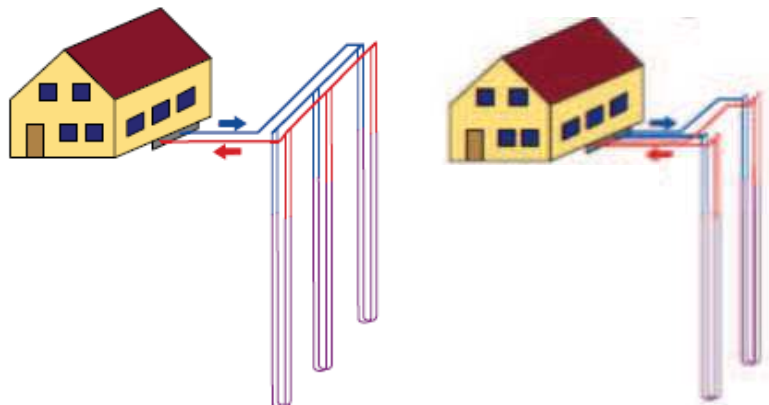


Figura 8.12.- Intercambiadores verticales en sondeos (sondas geotérmicas).

Las instalaciones que disponen de bomba de calor acoplada a circuitos cerrados con intercambiadores verticales son de dimensiones muy variadas: desde viviendas unifamiliares con un solo intercambiador hasta grandes edificios que requieren campos con un importante número de sondas geotérmicas. Una de las instalaciones con mayor número de intercambiadores verticales instalados en Europa para dar servicio a un único edificio

corresponde a las oficinas centrales de Control del Tráfico Aéreo Alemán (Deutsche Flugsicherung): un total de 154 perforaciones de 70 m de profundidad cada una.

Para el diseño de intercambiadores verticales conectados a instalaciones individuales o de pequeño tamaño puede recurrirse a tablas, datos empíricos y normas generales (las hay en Suiza y Alemania), mientras que, en el caso de instalaciones de mayor envergadura, es necesario calcular el número y la longitud de los dispositivos necesarios (existen diversos programas en el mercado). Para un número considerable de instalaciones de pequeña envergadura por ejemplo, una comunidad de 60 viviendas unifamiliares con dos sondas geotérmicas por vivienda, cuanto menor sea la distancia entre perforaciones, mayor deberá ser la profundidad de los intercambiadores.

Los tubos captadores a instalar en el interior del sondeo pueden presentar distintas configuraciones que, básicamente, se ajustan a los siguientes tipos básicos:

- Con tubos en U. El sistema de captación consiste en un par de tubos unidos en su base mediante un codo de 180°, cuyas salidas se conectan al circuito primario de las bombas de calor geotérmicas. En cada sondeo pueden instalarse, dependiendo de su diámetro de perforación, hasta cuatro de estos pares de tubos en U, existiendo también la posibilidad de dar a estos pares un mayor recorrido a lo largo de varias sondas. La ventaja de esta configuración es el bajo coste del material de los tubos, circunstancia que ha contribuido a que los intercambiadores verticales de este tipo sean los más utilizados en Europa.

- Con tubos coaxiales. El sistema de captación, en su disposición más simple, consta de dos tubos concéntricos de diferente diámetro. Existen configuraciones más complejas que incluyen un mayor número de tubos colectores

Los intercambiadores de calor del pozo suelen suministrarse prefabricados, Están formados por tuberías de polietileno o polipropileno, cuyo diámetro varía normalmente entre 3/4" (25 mm) y 2" (63 mm), en función del caudal circulante y la longitud del circuito. Su instalación habitualmente corre a cargo de la propia empresa de perforación.

La estabilidad de la temperatura en los primeros metros del subsuelo, hecho ya señalado con anterioridad, permite el aprovechamiento de la energía térmica transmitida desde el interior de la Tierra hasta las capas más superficiales de la corteza terrestre, mediante los captadores ubicados en las perforaciones. Esta circunstancia y el bajo índice de ocupación del terreno que presenta este sistema se muestran como las principales ventajas del mismo. Su principal inconveniente son los costes iniciales de implantación.

9 Análisis de potenciales impactos sobre el medio ambiente.

Dadas las características de ubicación del sistema de captación geotérmica, su alcance y duración de los trabajos, no se prevén impactos importantes sobre el medio ambiente y no existen espacios de especial protección.

En los sondeos sólo se podrán introducir en las perforaciones dos tipos de materiales: el propio detritus procedente de la misma perforación o el mortero de alta conductividad térmica. Por tanto, sólo se está introduciendo material inerte que no contiene materiales potencialmente contaminantes.

Durante la ejecución de las perforaciones, existe la posibilidad de que, accidentalmente, se pueda verter algún tipo de producto que pudiera ocasionar una contaminación en el acuífero, tales como, aceite hidráulico como consecuencia de una rotura de algún latiguillo de la máquina perforadora y aceite de motor o gasóleo de la máquina perforadora. Cualquiera de estos vertidos será siempre de muy pequeña cuantía, por lo que, en caso de fuga de alguno de estos materiales, la probabilidad de que caigan directamente en la perforación es muy baja. En caso de que el vertido tenga lugar en las inmediaciones de la perforación, se tomarán las siguientes medidas:

- Se parará de inmediato la operación de perforación hasta que no esté subsanado el problema.
- Se esparcirá cualquier tipo de material absorbente (tipo sepiolita) sobre la zona del vertido.

- Se retirará todo el material afectado por el vertido y será llevado a un vertedero autorizado.
- Para llevar a cabo la reparación de la avería, se dispondrá de un plástico debajo de la máquina perforadora que evite el contacto de posibles nuevas fugas sobre el terreno.
- Así mismo, para evitar vertidos incontrolados, estará prohibido realizar tareas de mantenimiento en las cercanías de las perforaciones. Dichos trabajos habrán de hacerse en zonas algo alejadas y habilitadas a tal fin.
- Una vez hechas las perforaciones, e inmediatamente después de su terminación, se introducirán los tubos colectores en el interior de las mismas y se cementará el sondeo mediante inyección de mortero geotérmico hasta la superficie, evitando la entrada de productos o líquidos en su interior.

También pueden producirse vertidos en las proximidades o cercanías de la perforación y que, por lixiviación, pueden llegar a la perforación e introducirse en ella. Para evitar que cualquier producto lixiviado entre en contacto con un acuífero, se rellenará la caña del sondeo, hasta la cabeza del mismo, lo más rápidamente que sea posible. De esta manera, quedará sellada la perforación.

Afección a la atmósfera:

La calidad del aire en el entorno de la zona de actuación puede verse alterada por el tránsito de maquinaria, y la emisión de gases de combustión expulsados por los tubos de escape de los vehículos y maquinaria utilizada. La producción de polvo durante la perforación es muy pequeña, pues se realiza mediante inyección de agua.

El ruido generado, únicamente durante la perforación, es elevado en las proximidades de la perforadora, en un entorno de 15 a 20 metros del punto de perforación. Por otra parte el tiempo de duración de la perforación, no superará la semana y se realizará en el horario establecido. Por todo ello, la afección al medio es mínima. Sin embargo, debido a la temporalidad de tales acciones y a que su magnitud no es importante, permite calificar este impacto como compatible.

Afección al medio edáfico:

La afección al medio edáfico puede calificarse como impacto compatible, dado que la aparición de posibles episodios de contaminación de suelos solo se deberá a situaciones accidentales, fortuitas o de baja probabilidad de ocurrencia, tomándose las medidas necesarias para que no ocurran, por lo que de producirse serán de escasa magnitud.

Afección al medio hídrico:

En cuanto a la afección al medio hídrico, se tomarán las medidas necesarias para conducir el detrito resultante de la perforación desde la boca del sondeo a la balsa/contenedor de decantación, por lo que no se prevén afecciones.

Afección a las aguas subterráneas:

Sobre las aguas subterráneas tampoco se prevé ningún tipo de afección, ya que no se utilizan ningún tipo de lodos de perforación. En la perforación con aire, el detrito se evacuará en contenedores y no se producirá ningún vertido en superficie que pueda afectar a las unidades subterráneas. En el proceso de perforación, se reviste con tubería metálica todo el sondeo hasta la introducción de la sonda, sellando el sondeo para evitar el flujo vertical entre diferentes unidades hídricas sin producir alteración alguna en las propiedades del acuífero. La toxicidad del producto es muy baja y no produce lixiviados. Por otra parte, la carga o cantidad de contaminante es escasa al tratarse de pequeñas cantidades de líquido

que se pueden fugar. Por todo ello, una posible fuga no supone un riesgo para la calidad de las aguas subterráneas.

Dadas las características del aprovechamiento geotérmico en sondeo vertical, no se producirá intercambio de fluidos en el interior del sondeo, con lo cual no se afectará a la calidad de las aguas subterráneas ni se derivará ningún caudal.

Solo se produce intercambio de calor entre la sonda y el terreno.

Afección a los acuíferos:

La posible existencia de acuíferos no presenta un problema ambiental, adoptando las medidas adecuadas. Los acuíferos que puedan presentarse, serán entubados hasta el sellado total de la caña del sondeo. Una vez finalizada la perforación, se procederá inmediatamente al relleno con mortero, de abajo hacia arriba quedando totalmente sellado el sondeo. Si a cotas inferiores a la zona entubada, existieran acuíferos importantes que impidieran el relleno del sondeo en la misma, se interrumpirá el relleno en la proximidad del acuífero, continuando con una capa de gravas hasta salvar su cota superior, continuando con el relleno de mortero hasta la superficie.

Las principales y más graves afecciones que se pueden ocasionar a un acuífero son el agotamiento y la contaminación del mismo. La primera de ellas no es aplicable a este caso, pues en las perforaciones geotérmicas nunca se extraerá agua para ningún fin. Solo se introducirán colectores para intercambiar calor con el subsuelo mediante la circulación por el interior de las tuberías de agua más anticongelante (propilenglicol) en una proporción en volumen 70/30, respectivamente.

En cuanto a los posibles riesgos de contaminación, las únicas causas que pueden provocarlos, en función de las características y usos del terreno adyacente a las perforaciones, son:

-Fugas de agua por anticongelante: La toxicidad del producto es muy baja. Por otro lado, la bomba de circulación dispondrá de un sistema de parada de emergencia si se detecta una caída de presión en el circuito de los colectores. Además todos los materiales utilizados en los captadores habrán de cumplir lo establecido en el presente proyecto y diversas normas de aplicación para garantizar su estanqueidad. Por todo ello es bastante improbable que se produjese una fuga.

-Introducción de material contaminado al rellenar las perforaciones: Solo se podrán introducir en las perforaciones dos tipos de materiales de relleno (arena silíceo o bentonita con cemento). Por tanto solo se esta introduciendo material inerte que no contiene sustancias potencialmente contaminantes que puedan general lixiviados.

-Vertidos accidentales en las perforaciones: Durante la ejecución de las perforaciones, existe la posibilidad de que, accidentalmente, se pueda verter algún tipo de producto que pudiera ocasionar una contaminación en el acuífero. Dichos productos pueden ser: Aceite hidráulico como consecuencia de una rotura de algún latiguillo de la máquina perforadora o Aceite de motor o gasóleo de la máquina perforadora.

Cualquiera de estos vertidos será siempre de muy pequeña cuantía, por lo que, si hubiese fuga de alguno de estos materiales, la probabilidad de que caigan directamente en la perforación es muy baja.

En caso de que el vertido tenga lugar en las inmediaciones de la perforación, se tomaran las siguientes medidas correctoras:

- Se parara de inmediato la operación de perforación hasta que no esté subsanado el problema.
- Se esparcirá cualquier tipo de material absorbente (tipo sepiolita) sobre la zona del vertido.
- Se retirara todo el material afectado por el vertido y será llevado a un vertedero autorizado o gestor autorizado.
- Para llevar a cabo la reparación de la avería, se dispondrá de un plástico debajo de la máquina perforadora que evite el contacto de posibles nuevas fugas sobre el terreno.

Así mismo, para evitar vertidos incontrolados, estará prohibido realizar tareas de mantenimiento en las cercanías de las perforaciones. Dichos trabajos habrán de hacerse en zonas especialmente habilitadas a tal fin.

Una vez hechas las perforaciones, e inmediatamente después de su terminación, se introducirán los tubos colectores en el interior de las mismas. Posteriormente se cementara el sondeo. Una vez finalizado este proceso, podrá colocarse en la boca de la perforación una tapa de cierre hermético que evite la entrada de cualquier producto o líquido en su interior.

-Vertidos accidentales por las perforaciones : Se entienden por vertidos por las perforaciones aquellos que se producen en las cercanías de la perforación y que, por lixiviación, pueden llegar a la perforación e introducirse en ella. Para evitar que cualquier producto lixiviado entre en contacto con un acuífero, se colocara, un tubo de revestimiento de acero que penetre, por lo menos 2 metros en la roca inalterada y, posteriormente se rellenara, siempre que sea posible el espacio anular entre el terreno y el tubo con cemento.

De esta manera, quedara sellada la perforación, ya que la unión entre el suelo/cemento/tubo será estanca.

En cuanto a las afecciones a los acuíferos durante la fase de explotación cabe decir que el mantenimiento que requiere la instalación es mínimo por no decir nulo, ya que como se ha mencionado anteriormente, el único riesgo existente es una posible fuga del líquido caloportador, situación esta que es detectada automáticamente por el sistema produciéndose de forma instantánea la parada y cierre de la circulación.

Por último, con el paso de los años, cualquier sistema geotérmico quedara fuera de servicio. Cuando esto ocurra se debe clausurar el sondeo y la sonda al objeto de proteger las aguas subterráneas. Para ello, en primer lugar, se debe proceder a retirar el fluido caloportador de la sonda, inyectando una lechada de cemento similar a las empleadas en la cementación de los sondeos.

El fluido caloportador se recogerá evitando vertidos, se almacenará y se transportará a uno de los puntos de eliminación o de almacenamiento definitivo que estén establecidos. Se retirara la tapa de la cabeza del sondeo, se excavara un hoyo alrededor del mismo de 1.5 m de profundidad y se cortaran los tubos de la sonda que sobresalgan.

El hueco se rellenara de hormigón con un espesor de, al menos, 30 cm por encima de las tuberías, y el resto de la excavación se rellenará con tierra compactada o se pavimentará.

10 Medidas preventivas, correctoras o compensatorias para la adecuada protección del medio ambiente.

Con objeto de garantizar la protección de los espacios colindantes, el límite de la actuación quedará fijado y señalizado en el replanteo de las obras. No se alterará superficie alguna fuera del límite de la superficie a ocupar por el proyecto, más una franja perimetral en la que se situarán los acopios de materiales o de tierras excedentes, parques de maquinaria o equipamiento adicional, etc. La circulación de personal y maquinaria estará restringida a la zona acotada.

Medidas preventivas/correctoras de impactos sobre la atmósfera:

Se utilizará maquinaria y vehículos que cumplan las exigencias normativas en relación con las emisiones a la atmósfera (contaminación química y ruido), para reducir el impacto sobre la atmósfera. Así mismo, las pistas de tierra destinadas al paso de vehículos serán regadas con cierta frecuencia para así evitar la generación de polvo en suspensión.

Nota: La maquinaria va montada sobre orugas y apenas produce polvo en suspensión, debido a escasa velocidad que pueda alcanzar.

Medidas preventivas/correctoras sobre el medio edáfico:

Una vez finalizadas las obras, se procederá a la retirada de todos los residuos que se hubieran generado. En ningún caso se crearán escombreras ni se abandonarán materiales de construcción u otros restos en los alrededores de las obras.

Medidas preventivas/correctoras de impactos sobre el medio hídrico:

Para reducir impactos sobre el medio hídrico, se llevará un control de los residuos generados en las obras y en explotación de las instalaciones, con establecimiento de procedimientos de gestión adecuada de los mismos. En el caso de producirse fugas de gasoil o aceite en superficie, se procederá a la retirada del volumen de suelo afectado, trasladándolo al lugar adecuado para su almacenamiento en depósitos estancos, donde posteriormente serán recogidos y trasladados a una planta de residuos contaminantes.

Medidas preventivas/correctoras de impactos sobre las aguas subterráneas:

La posible afección de los trabajos de perforación a los niveles acuíferos es prácticamente inexistente, debido a que no se utilizan lodos de perforación, perforando únicamente con aire y agua. Además de revestir la perforación en la totalidad de su longitud, evitando así el contacto e intercambio entre niveles acuíferos.

Se utiliza agua para perforar, únicamente durante los primeros metros, para evitar la generación de polvo. Una vez alcanzado el nivel acuífero, ya no es necesario seguir utilizando agua, siendo suficiente con el agua procedente de la perforación.

Al igual que en el caso de los suelos, se tomarán todas las medidas necesarias para evitar un posible vertido del combustible de algún depósito auxiliar que contamine las aguas subterráneas, cercando la posibilidad de ocurrencia únicamente a un posible vertido en superficie.

Estas medidas se componen en la utilización de bandejas homologadas para recoger posibles vertidos y en la retirada de la tierra a los contenedores de tierras contaminadas con hidrocarburos.

11 Medidas de seguridad e higiene.

11.1 Medidas referentes a la realización y ubicación del sondeo.

Se colocará bajo la máquina una bandeja de recogida de los fluidos que puedan ser derramados por la maquinaria (aceite, gasoil, etc.).

Se habilitará un recipiente para la recogida de los diferentes escombros que puedan producirse.

Se procurará un buen mantenimiento de la maquinaria impidiendo así que se originen ruidos procedentes de elementos desajustados o desgastados, limitándose los trabajos más ruidosos a las horas diurnas.

Tras el cese de los trabajos, se retirará lo antes posible la maquinaria utilizada, se recogerán los elementos accesorios empleados y se vaciará la balsa de lodos. Se limpiará completamente de toda materia extraña con inclusión de herramientas, maderas, cuerdas, etc. Se procederá al relleno total de los huecos que se hallan podido realizar, con tierra vegetal, tratando en lo posible de recuperar la fisonomía anterior a los trabajos.

El sondeo deberá ubicarse en una zona relativamente alta, a una elevación superior a la de cualquier fuente cercana de contaminación.

La tubería de revestimiento deberá sobrepasar por lo menos medio metro de la superficie del terreno. Desde el techo del acuífero hasta la superficie, la tubería debe constituir una conducción perfectamente estanca.

Hay que tener precauciones en la distancia de posibles fuentes de contaminación, guardándose una distancia mínima de 30 metros a cualquiera de los posibles focos contaminantes: fosa aséptica, canales, alcantarillas, cursos de agua descubiertos, etc.

11.2 Medidas referentes a la instalación eléctrica.

Se colocará una toma de tierra bajo los cuadros de maniobra, constituida por una placa de acero galvanizado de 1000 x 500 x 2,5 mm, enterrada en el suelo a una profundidad de 80 cm, que estará unida eléctricamente al cuadro por medio de un cable de cobre desnudo de 35 mm² de sección. Los herrajes y neutro de la placa estarán con cortocircuitos cerrados.

También estarán unidos eléctricamente al cuadro de maniobra las masas metálicas de los elementos componentes de la instalación, aprovechando para ello el conductor que en las líneas acompaña a los activos o conductores de fase.

La toma de tierra se realizará de forma que ninguna masa pueda dar origen a contactos superiores a 50 V.

Para la protección contra sobreintensidades, se regulará el relé térmico a una intensidad de valor:

$$1,25 \times 13,11 = 16,39 \text{ A}$$

Donde 1,25 es un coeficiente debido a que los relés térmicos son de tiempo.

Los aparatos empleados para la protección contra cortocircuitos, son los relés magnéticos y los fusibles. Se pondrán los dos sistemas en serie, con el objeto de que el fusible interrumpa

los arcos de gran potencia, y el relé magnético responda a la intensidad de cortocircuito media y pequeña. La intensidad nominal de relé es la menor intensidad para la cual el aparato actúa y abre el circuito. Por razones de seguridad debe ser inferior a $2/3$ de la intensidad mínima de cortocircuito. Como el relé no debe actuar durante el arranque, esta intensidad nominal deberá ser superior a la punta de arranque, se valorará en 8 veces la intensidad nominal.

La protección contra sobrecargas, se realiza bien mediante fusibles o relés térmicos. Estos deben permitir cortar la corriente si la sobrecarga alcanza cierta amplitud, pero debe permitir el arranque del motor que aumenta la intensidad de 6 a 8 veces el valor nominal del arranque, si bien la duración es pequeña. Esta exigencia es difícil conseguirla mediante fusibles, por lo que se adoptará el relé térmico.

ANEXO MEMORIA N°1: PLANIFICACIÓN

1 Maquinaria a emplear.

La maquinaria utilizada constará de una serie de elementos que permitirán cumplir con las siguientes funciones:

- Hacer girar y permitir el avance de la columna de perforación.
- Suspender y extraer dicha columna.
- Extraer el fluido de perforación a través de la sarta para refrigerar el útil de corte.
- Extraer el detritus en su retorno.
- Colocar las tuberías y filtros frente a las profundidades deseadas.

1.1 Características de la maquinaria.

Los elementos de que constará la maquinaria, son los siguientes:

- Dos motores independientes completos con depósito para combustible, filtros de aire y manómetro para medir la presión de aceite. Estos motores son diesel, equipados con accionamiento hidráulico, el cual constará de un acoplamiento de fluido y un embrague de fricción.
- Compresores de aire (dos) capaces de proporcionar $14 \text{ m}^3/\text{minuto}$. Estos compresores están accionados mediante correas en V a la caja Compound.

- Bomba hidráulica de aceite de paletas de trabajo continuo. La bomba está montada sobre la caja Compound y funciona por medio de una cadena de rodillos.

- Mesa de rotación de acero, con todas las partes móviles completamente encerradas y trabajarán en un baño de aceite. Los cojinetes de la mesa y los del piñón serán de bolas.

- Cabrestante de maniobras, que constará de un tambor doble, con embragues accionados por aire. El cabrestante es impulsado mediante una junta universal a un engranaje flotante. El tambor principal estará dotado de dos embragues accionados por aire, uno a cada lado, obteniéndose dos velocidades para la elevación, para sacar la tubería vástago y para el manejo de las poleas, sin necesidad de cambiar en el engranaje de transmisión.

- Transmisión, que podrá ser de engranaje helicoidal maniobrado a distancia, con lo cual el sondista podrá elegir entre cuatro velocidades de avance y una marcha atrás.

- Accionamiento en Compound para proporcionar un medio de aumentar la flexibilidad de la perforadora. La selección de movimiento con el accionamiento en Compound permite conectar todos los elementos de la perforadora a ambos motores funcionando simultáneamente, o bien, accionar todos los elementos de la perforadora por cualquiera de los motores.

- Torre, que estará constituida de viguetas de doble T de aleación de acero. La torre se levantará mediante dos cilindros hidráulicos que actúan conjuntamente a alta presión.

- Bomba de lodos capaz de hacer circular los lodos.

- Contenedor para la deposición de detritus.

- Barrenas, cabezas, coronas y otras herramientas de perforación.

- Contenedores para el transporte de barrenas.

Durante el trabajo, la máquina será maniobrada por un operario eficiente, desde un control central de mandos.

1.2 Descripción del equipo accesorio.

Dentro del equipo accesorio se incluye:

- Útil de corte, que es el elemento en contacto directo con el terreno que, al girar, produce la rotura y disgregación del mismo en partículas pequeñas, que puedan ser arrastradas a la superficie por la circulación del fluido o lodo de perforación. Se utilizarán los denominados triconos, variando el número de dientes y longitud según características del terreno.

- Lastrabarrenas, que son barras huecas de pared muy gruesa, cuyo objeto principal es proporcionar peso al útil de corte, haciéndole que trabaje en las condiciones más adecuadas para que su avance sea óptimo en cada clase de terreno. Se colocarán inmediatamente encima de él. El material empleado en la construcción de los lastrabarrenas es acero de aleación al cromo-molibdeno.

- Varillaje formado por varillas huecas de acero, roscadas en los extremos por donde se unen unas a otras, y con la misión de suspender el útil de corte y los lastrabarrenas,

transmitir el movimiento de giro que le proporciona la mesa de rotación y conducir por su interior e lodo de perforación.

- Barra Kelly, de la que pende toda la columna de perforación y su función es transmitir e giro que le proporciona la mesa de rotación al varillaje, permitir su descenso y subida, así como conducir por su interior e lodo de perforación que ha de circular por todo el varillaje.

2 Personal a emplear.

La empresa contratista dispondrá de un encargado permanente en obra que supervisará y controlará todos los trabajos.

Los operarios tendrán experiencia en este tipo de obras.

El control y supervisión técnica de los trabajos correrá a cargo del Director Facultativo.

El personal necesario para el correcto desarrollo del sondeo y mantenimiento de los equipos es el siguiente:

MEDIOS HUMANOS	OPERARIOS/TURNO
Maquinista	1
Sondista	2
Tubero especialista	1
Dirección de Obra	1 INGENIERO DE MINAS
Vigilante o encargado de explotación	1
TOTAL PERSONAL	6

3 Plazo de ejecución .

Por las características de la obra y de su emplazamiento, se estima una duración de los trabajos de 2 semanas. En este plazo se ha considerado la influencia de la climatología, así como los posibles retrasos debidos.

ANEXO MEMORIA Nº2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CULTIVO EN INVERNADEROS

1 Introducción.

Un invernadero es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas. En la jardinería antigua española, el invernadero se llamaba estufa fría.

Aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material translúcido, calienta los objetos que hay adentro; estos, a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar los vidrios a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento. Las emisiones del sol hacia la tierra son en onda corta mientras que de la tierra al exterior son en onda larga. La radiación visible puede traspasar el vidrio mientras que una parte de la infrarroja no lo puede hacer.

El cristal o plástico usado para un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro del invernadero, que calienta el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección. Esto puede ser demostrado abriendo una ventana pequeña cerca de la azotea de un invernadero: la temperatura cae considerablemente. Este principio es la base del sistema de enfriamiento automático autoventilación.

En ausencia de un recubrimiento, el calor absorbido se eliminaría por corrientes convectivas y por la emisión de radiación infrarroja (longitud de onda inferior a la visible). La presencia de los cristales o plásticos impide el transporte del calor acumulado hacia el exterior por

convección y obstruye la salida de una parte de la radiación infrarroja. El efecto neto es la acumulación de calor y el aumento de la temperatura del recinto.

Los vidrios tienen muy poca resistencia al paso del calor por transmisión (de hecho, para el acristalamiento sencillo, el coeficiente de transmisión térmica se considera nulo y solo se tiene en cuenta la suma de las resistencias superficiales), de modo que, contra lo que algunos creen, al tener dos temperaturas distintas a cada lado, hay notables pérdidas por transmisión (el vidrio tiene una transmitancia $U = 6,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, aun mayor si está en posición inclinada respecto a la vertical). El resultado es que, a mayor temperatura, menor será el efecto de retención del calor, es decir que al aumentar la temperatura aumentarán las pérdidas disminuyendo el rendimiento del sistema.

Los primeros invernaderos de horticultura neerlandeses fueron construidos alrededor de 1850 para el cultivo de uvas. Se descubrió que el cultivo en invernaderos con calefacción incrementaba el rendimiento. Las plantas crecían más rápidamente cuando se les daba más luz y cuando el entorno cálido era constante. Esto significa que, si no hubiera invernaderos, en los Países Bajos no se podrían explotar plantaciones solamente cultivables en países cálidos.

En Westland se enarenaron las tierras morrénicas. La arena fue llevada a las turberas y arcillas mojadas y, por lo tanto, se creó un buen subsuelo para la horticultura. Finalmente se creó la concentración de horticultura e invernaderos mayor de todo el mundo en Westland. Esto fue por la influencia moderadora del agua circundante, la gran cantidad de luz solar cerca de la costa, la cercanía de grandes concentraciones de habitantes y las innovaciones del sector de construcción de invernaderos.

Las tormentas de 1972 y 1973 fueron la razón de llevar a cabo investigaciones científicas técnicas y sistemáticas en la construcción de invernaderos. Conjuntamente con pioneros de la industria y comercio, se redactó la primera normativa para la construcción de invernaderos neerlandesa, NEN 3859. Desde entonces se han hecho muchas más investigaciones que han resultado en modelos que son traducidos en un diseño

arquitectónico. Estos modelos aritméticos son modificados y ajustados continuamente y son una de las razones por la que los invernaderos neerlandeses tienen tan buena reputación.

En España, debido a las condiciones climáticas de la costa mediterránea, se desarrolló a finales de la década de los 70 una proliferación del cultivo en invernaderos, siendo las provincias de Alicante, Murcia, Almería y Granada las principales áreas de proliferación. Se notó un impacto mayor en la costa almeriense, donde casi toda su superficie de costa está cubierta por el conocido como "mar de plástico". De hecho es una de las pocas construcciones visibles desde el espacio porque en su conjunto tienen un largo y ancho suficiente.

Un ejemplo claro del paisaje de invernaderos se puede encontrar en el Campo de Dalías y en el Campo de Níjar ambos en los municipios almerienses de El Ejido y Níjar. Este tipo de cultivo bajo plástico se basó casi al 100%, en invernaderos tipo "parral", también conocidos en sus diferentes variantes como 'malla sombra', 'casa sombra', 'invernadero canario', etc.

2 Temperatura.

La temperatura afecta directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas,...etc.

Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura del invernadero está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10º y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse el acercarse a este valor letal.

En cuanto a las bajas temperaturas, los cultivos tienen un valor umbral más elevado que el punto de congelación del agua, umbral que determina para cada especie la temperatura mínima por debajo de la cual las plantas cesan de crecer normalmente (ya sea cualitativa o cuantitativamente). No existe un acuerdo común entre los distintos autores sobre la manera de determinar el valor umbral entre las distintas plantas cultivadas, pero no es este un tema a tratar aquí. Como mera indicación las fresas tienen su umbral alrededor de 7°C y los tomates alrededor de 12°C.

Si el cultivo dispone de suficiente luz, la temperatura es el factor de mayor influencia en las tasas de crecimiento y desarrollo de las plantas. Los experimentos muestran que la tasa de crecimiento de la planta aumenta con la temperatura hasta llegar a un nivel deseado óptimo.

3 Calefacción.

En invierno las condiciones climáticas de la mayoría de las zonas mediterráneas, excluyen el cultivo al aire libre de plantas con necesidades de calor (por ejemplo, el tomate). Por este motivo los agricultores usan los invernaderos y los abrigos.

El cultivo extratemprano y extratardío sólo puede lograrse en base a la reducción de pérdidas de calor, principalmente por la noche (aumentando la hermeticidad del invernadero, usando paredes dobles o pantallas térmicas), o calentando artificialmente con fuentes de energía tradicionales o no convencionales como la energía solar, geotérmica, etc.

En ambos casos el agricultor se enfrenta al problema de la rentabilidad.

Los agricultores deben intentar mejorar las condiciones térmicas de sus invernaderos si quieren obtener el máximo rendimiento de sus inversiones. La mayoría de los sistemas de calefacción diseñados para los invernaderos de vidrio, sirven también para los de plástico, pero también existen otros sistemas de bajo costo y menor sofisticación que dan resultados positivos.

El invernadero debe calentarse si la temperatura exterior cae por debajo de la temperatura que necesitan los cultivos. Una forma general de estimar las necesidades de calor del invernadero puede calcularse según la siguiente expresión:

$$Q = A_H K'(t_i - t_a)(W)$$

Las necesidades específicas de calor por metro cuadrado de suelo de invernadero, se calculan por:

$$q = A_H / A_G K'(t_i - t_a)$$

En dónde:

$K'(W/m^2K)$ es el coeficiente global de transmisión de calor

$A_H(M^2)$ es el área de la superficie del invernadero

$A_G(M^2)$ es la superficie del suelo del invernadero

t_i es la temperatura requerida dentro del invernadero

t_a es la temperatura media de las mínimas en el exterior

El coeficiente global K' , depende del material de cubierta, de la hermeticidad del invernadero, del sistema de calefacción, del sistema de riego, de la velocidad de viento, de la cantidad de nubes que cubran el cielo y de la precipitación.

Para los invernaderos de plástico se pueden usar los siguientes valores, que varían según la hermeticidad del invernadero considerando una velocidad del viento media, de 4 m/s:

Película simple $K' = 6 \text{ a } 8,0 W/m^2K$

Película doble: $K' = 4,2 \text{ a } 6,0 W/m^2K$

Para las temperaturas exteriores medias de mínimas, se deben tomar valores registrados en estaciones meteorológicas próximas. En Hannover, Alemania, es de $-14^\circ C$, mientras que en muchas regiones de nuestro país la temperatura media de las mínimas toman un valor próximo a $0^\circ C$.

A continuación se muestran los coeficientes globales de pérdida de calor de una serie de materiales de cubierta:

<u>MATERIAL</u>	<u>Wm⁻² °C⁻¹</u>
Vidrio sencillo	6,0 - 8,8
Doble vidrio, cámara de 9 mm.	4,2 - 5,2
Doble acrílico SDP 16	4,2 - 5,0
Triple acrílico S3P 32	3,0 - 3,5
Doble policarbonato, cámara 10 mm.	4,7 - 4,8
Doble policarbonato, cámara 16 mm.	4,2 - 5,0
Plástico	6,0 - 8,0
Doble plástico	4,2 - 6,0
Doble plástico IR opaco + cortina	2,5 - 3,0
Vidrio + cortina térmica de polietileno	6,4
Vidrio + cortina térmica de PVC	4,7
Vidrio + cortina térmica de EVA	5,1
Vidrio + cortina térmica de burbujas	4,9
Vidrio + cortina térmica de plástico, film no tejido	4,1 - 4,8
Vidrio + cortina térmica de doble plástico, burbujas	3,4 - 3,9
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado y burbujas	3,2
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado sencillo	3,4 - 3,9

La calefacción artificial solamente se recomienda en aquellas zonas sometidas a temperaturas invernales especialmente bajas, o en la producción de cultivos especiales.

La energía geotérmica es una de las fuentes más interesantes de energía para calentar invernaderos. El agua caliente de fuentes naturales o de pozos profundos se usa actualmente como fuente energética en países mediterráneos, como Francia, Grecia, España, Bulgaria,... Los principales obstáculos son los siguientes:

- El alto grado de concentración de sales que produce obturaciones en las tuberías.

- La falta de suelo agrícola en aquellas zonas donde se ha encontrado agua caliente.
- El costo de los estudios sistemáticos hidrogeológicos y la profundidad de los pozos.

Recientemente se han diseñado algunos sistemas de distribución del calor, especialmente pensados para el uso de la energía geotérmica. Uno de los más sencillos y efectivos procede del N de Grecia.

Se hace circular el agua caliente en tuberías de polietileno transparente de 250 micras, apoyadas en el suelo entre las hileras. El diámetro y el número de tubos, depende de la temperatura del agua: Si es superior a 50°C, el diámetro de los tubos es de 9,5 a 12,5 cm. Si está comprendida entre 30 y 50°C, el diámetro será entre 12,5 y 19 cm. La composición química de los tubos depende de la temperatura del agua: sólo se puede usar PE si ésta es inferior a 60°C, por encima de este valor se debe utilizar PP. En general los conductos de calefacción enterrados en el suelo son menos eficientes (temperaturas del suelo demasiado altas, zonas aislantes de suelo alrededor de los tubos).

A veces se utilizan también, tuberías de PE negras de 25 mm de diámetro, para distribuir el calor de la energía geotérmica en el invernadero.

4 Refrigeración.

El controlar el exceso de calor es otro de los problemas en la producción bajo invernaderos. Incluso en invierno en días claros, la temperatura sube por encima del nivel deseado y durante el verano la temperatura puede subir por encima de los 50° C. Los invernaderos mal ventilados, no permiten tener cultivos en su interior desde la mitad de junio a la mitad de septiembre si están localizados en la región Surmediterránea. En zonas áridas o semiáridas este período puede extenderse de 15 de mayo hasta comienzos de octubre. En las regiones del norte, como la de este estudio, es posible y deseable mantener cultivos en el invernadero incluso en los meses de verano.

El exceso de temperatura causa daño en la morfología y en los distintos procesos fisiológicos de las plantas, como son la formación floral, la quemadura de hojas, la mala calidad del fruto, el exceso de transpiración, el acortamiento de la vida del cultivo, la reducción de la fotosíntesis neta debido al exceso de respiración...

En un día claro de verano el nivel de la radiación solar, puede alcanzar el valor de 1,5 calorías por cm² y minuto. Incluso cuando la cubierta vegetal está plenamente desarrollada y puede utilizar el 50 % de la radiación solar en la evapotranspiración, la temperatura sube por encima de los niveles deseados. Si la cubierta vegetal es incompleta, la evapotranspiración se reduce y el aumento de temperatura es mayor. En ambos casos debe emplearse alguna técnica para reducir la temperatura y mejorar las condiciones de producción.

Los cuatro factores principales que permiten reducir la temperatura son:

- La reducción de la radiación solar que llega al cultivo (blanqueado, sombreo, etc.)
- La evapotranspiración del cultivo.
- La ventilación.
- La refrigeración por evaporación de agua (nebulización, "cooling system" etc.)

Ya que estos factores están ligados por la ecuación del balance de energía si uno de ellos cambia también cambian los demás. Por eso es difícil comparar los resultados de experimentos diferentes, puesto que el efecto del sombreado, sobre la temperatura del invernadero, por citar un ejemplo, depende de la tasa de transpiración del cultivo, de la tasa de ventilación del invernadero y de la existencia o no de los equipos de evaporación y de la intensidad de la radiación solar.

5 Ventilación.

El intercambio de aire entre el interior y el exterior del invernadero incide de una manera clara en el clima de cultivo. No solamente cambia el balance de energía, por lo tanto la temperatura del aire, sino que también afecta al contenido de vapor de agua y de anhídrido carbónico.

La ventilación natural, también llamada pasiva o estática, no utiliza energía auxiliar sino que tiene su motor en dos factores.

1. Distribución de presiones en la superficie de la estructura debido al viento, que crea zonas de presión positiva y negativa en la cubierta.
2. Diferencia de temperatura y por lo tanto de presión entre el invernadero y el exterior.

La resistencia que opone la ventana al flujo del aire, función de la geometría de los orificios de entrada y salida y también del número de Reynolds cuando los efectos de viscosidad tienen importancia, reduce la tasa de ventilación.

El efecto eólico tiene más importancia que el efecto térmico. En los invernaderos de Holanda se ha comprobado que si el salto térmico es de 9°C, a partir de la velocidad de viento de 1 m/s el efecto térmico tiene menos importancia que el eólico sobre la cantidad de aire renovado.

La mayoría de los invernaderos en nuestro país tienen sistemas de ventilación muy sencillos con ventanas laterales enrollables. En estas condiciones es difícil que el clima interior sea aceptable si la anchura del invernadero supera los 20 m.

La ventilación cenital complementa extraordinariamente la ventilación lateral. Si el invernadero tiene al menos el 5 % de superficie de ventanas en el techo (porcentaje referido a la superficie del suelo) y el 10 % de ventanas en el lateral, la anchura de los invernaderos no presenta problemas de exceso térmico cuando el invernadero está lleno de plantas. Si

está vacío, en días soleados de verano, debe aumentarse esta recomendación mínima de ventanas.

El estudio de la ventilación natural ha progresado notablemente. Se dispone buena información sobre el modo en que el cultivo y las mallas anti-insectos afectan al movimiento del aire. También está en fase avanzada de desarrollo la instalación de ventanas eficaces en el techo de los invernaderos.

6 Conservación del calor.

La mayoría de los invernaderos mediterráneos no tienen calefacción y por tanto es de vital importancia el mantener el calor que el invernadero capta de una manera natural.

Si el invernadero tiene calefacción artificial controlada por un termostato, una manera de ahorrar energía es la de reducir la temperatura requerida durante el día y la noche hasta el límite económico, esto es, hasta el punto en el que el ahorro energético no se equilibra con las pérdidas causadas por la disminución de la producción o de la precocidad. Por desgracia no se conoce con precisión los requerimientos térmicos de todos los cultivos y la curva de disminución de producción en función de la disminución de la temperatura. Otra manera de ahorrar energía es la de escoger dentro de cada especie, aquellos cultivos que sean menos exigentes en calor. El desarrollo de variedades de bajas necesidades térmicas es una de las líneas de investigación que merece recibir la máxima atención.

Si el invernadero no tiene calefacción artificial, la única manera de evitar las caídas bruscas de temperaturas nocturnas es el conservar el máximo del calor solar recibido durante el día. Para ello aparte de lograr que el invernadero sea más hermético, se pueden emplear distintas técnicas entre las que merecen destacarse la instalación de paredes dobles y de pantallas térmicas.

La transmisión de luz del invernadero es un factor secundario en relación con otros como:

- El grado de suciedad de la cubierta plástica. El polvo puede disminuir la penetración de luz en un 30 a un 50 % y reducir seriamente la fotosíntesis, la naturaleza del plástico y sus cualidades electrostáticas son factores más fundamentales que la forma y la orientación de la estructura.
- Las maneras de controlar las pérdidas de calor, especialmente si se utilizan plásticos dobles. El uso de la segunda película instalada de manera permanente o de la pantalla térmica durante las primeras horas de la mañana, pueden llegar a doblar las pérdidas de luz.

- El material de la estructura. Al comienzo del cultivo bajo plástico (1.955) e incluso hoy en aquellas regiones en las que se llega a implantar esta técnica, el propio productor hace su invernadero a veces con materiales de segunda mano. La madera produce más sombra que la estructura metálica y todo el conjunto de la estructura puede producir excesivas pérdidas de luz.

Los cortavientos hechos con árboles o arbustos, pueden sombrear al invernadero.

También merece la pena destacar que el factor de transmisión de los materiales de cubiertas de invernadero y de las pantallas térmicas sobre el sombreado, es menor para la radiación difusa que para la directa. La diferencia puede ser de 7 al 10 % de acuerdo con las características del material. Además los valores de radiación registrados bajo cielo cubierto son menores que bajo cielo claro en aproximadamente el mismo porcentaje. Como resultado el factor de transmisión en tiempo cubierto puede ser el 80 o el 90 % del valor medido en tiempo soleado.

Finalmente, la orientación de las filas o hileras de cultivo, tiene más importancia en cuanto al uso de la luz por las plantas, que la forma y orientación del invernadero.

7 Humedad.

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. La influencia de la humedad no ha sido investigada con la misma profundidad que la de otros factores ambientales, quizás debido a la dificultad del control y de la medida precisa de esta variable.

El aire del invernadero es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas.

Durante la noche la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de estomas y la evaporación del suelo es insignificante porque el déficit de presión de vapor es pequeño. Conforme la temperatura decrece en el invernadero y puesto que la humedad relativa h_r varía inversamente con la temperatura para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire, la h_r puede alcanzar valores próximos a la saturación.

Durante el día por efecto de la calefacción solar, la humedad absoluta del aire aumenta puesto que la apertura de los estomas hace aumentar la transpiración. Al mismo tiempo la humedad relativa puede disminuir con el aumento de la temperatura y en muchos casos puede alcanzar valores muy bajos, especialmente si el invernadero está bien ventilado. El cultivo tiene una influencia clara en la humedad ambiental: El tomate puede evaporar en condiciones óptimas hasta 15 gr de agua por metro cuadrado y minuto, esto es aproximadamente un litro por cada metro cuadrado y hora.

En relación con la humedad en el invernadero deben destacarse los siguiente puntos:

1. Definición y dependencia de la humedad
2. Influencia de la humedad en el clima del invernadero
3. Control de la humedad

Las plantas tienen que transpirar agua para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento. La transpiración depende del déficit de saturación entre los estomas y el aire.

Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o demasiado bajos influyen en la fisiología del cultivo y en su desarrollo.

Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado, reduciéndose la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes.

Si la humedad ambiental es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis.

La humedad alta puede dificultar la polinización puesto que el polen húmedo puede quedar pegado en los órganos masculinos.

La humedad ambiental puede favorecer el desarrollo de enfermedades. Si la temperatura del cultivo cae por debajo de la temperatura del rocío del aire, se condensa el agua y se favorece el desarrollo de enfermedades por hongos.

El contenido de agua es independiente de la temperatura.

Las plantas reaccionan fisiológicamente a: déficit de presión de vapor $d.p.v. = \text{presión de saturación} - \text{presión de vapor actual}$

Otro índice similar es la diferencia de contenido de agua = contenido de agua en saturación - contenido de agua actual.

Se ha comprobado que la condensación reduce de una manera significativa la transmitancia térmica de algunos materiales de cubierta como el polietileno, debido a la absorción de las pérdidas de radiación.

8 Dióxido de carbono.

El CO₂ es el nutriente más importante de los cultivos, puesto que contiene aproximadamente un 44 % de carbono y una cantidad similar de oxígeno.

El aire es la única fuente de CO₂ para las plantas y su contenido no excede el 0,03 % (300 ppm). Para producir 10 gramos de materia seca por metro cuadrado por día, el cultivo de tomate consume 2 litros de CO₂, lo que corresponde aproximadamente al producto de la combustión de 0,03 de metros cúbicos de gas natural (aproximadamente 30 metros cúbicos de gas para 1.000 metros cuadrados de cultivos).

A pesar de la importancia del CO₂, se ha prestado poca atención a la denominada nutrición carbónica. Se sabe que la velocidad de crecimiento de la planta decrece abruptamente cuando la concentración mínima de CO₂ desciende por debajo de 300 ppm y además la mayoría de los cultivos producen mucho más cuando la concentración de CO₂ disponible excede de este nivel. Se estima que la tasa de crecimiento del tomate bajo condiciones normales de luz disminuye el 80 % cuando la concentración de CO₂ disponible cae por debajo de 100 ppm y aumenta el 20 % cuando la concentración alcanza 1.000 ppm.

El problema del enriquecimiento con CO₂ en la región mediterránea es el siguiente: tan pronto como amanece (es decir, en cuanto que hay luz), independientemente de que el invernadero esté o no esté abierto, la concentración de CO₂ es escasa y las plantas no fotosintetizan a su tasa óptima. La carencia de CO₂ aumenta con el grado de estanqueidad del invernadero y depende también del tiempo que se tarde en abrir las ventanas: las plantas corren el riesgo de no poder alcanzar su punto de compensación, esto es, respiran más de lo que fotosintetizan.

9 Ejemplos de invernaderos con energía geotérmica.

Dos invernaderos en el Real Jardín Botánico de Madrid aprovechan la energía geotérmica, en ellos se desarrollan plantas tropicales moderando los extremos climáticos de Madrid.

Por otra parte el invernadero más grande del mundo (50 hectáreas) en Gran Bretaña se autoabastece energéticamente con fuentes geotérmicas.

Islandia se las arregla para producir tomates, paprika y pepinos todo el año, aprovechando localmente la energía geotérmica, aunque la temporada de cultivo es corta.

El país comenzó a usar esta forma de producir energía a fines del siglo XIX. El objetivo entonces era calentar el suelo para cultivar verduras al aire libre. Continu haciéndolo a pequeña escala a principios del siglo XX, pero para calefactar piscinas, invernaderos y edificios.

Sin embargo, fue con la crisis petrolera de los años 70 que los islandeses comenzaron a desarrollar seriamente sus recursos geotérmicos, en procura de autosuficiencia energética.

En la actualidad hay seis centrales geotérmicas en el país. Tres de ellas la diminuta de Bjarnaflag y las más grandes de Nesjavellir y Svartsengi suministran agua caliente para calefactar sus distritos, así como electricidad.

10 Estimación de las necesidades energéticas del invernadero

10.1 Introducción

La agricultura es uno de los sectores con mayor potencial de utilización de este tipo de fuentes de energía.

En el caso de los invernaderos puede decirse, además, que estos en sí mismos constituyen dispositivos de transformación energética a partir una fuente renovable como es el sol; aunque hay que decir también que la existencia de cultivos en su interior hace que el tratamiento de flujos de masa y energía deba ser mucho más sofisticado que en el de un colector solar térmico. Esta analogía de partida, junto con el condicionante genérico en este tipo de explotaciones de optimización de consumos -agua, energía, materiales,...- actúa a favor de la implantación de fuentes renovables en mayor medida que en otros entornos productivos.

La superficie de invernaderos en la Unión Europea está en constante crecimiento, y en determinadas zonas, como el Sureste de España, tiene una importancia socioeconómica muy relevante. El consumo energético en los invernaderos es un factor vital a considerar dentro de los costes de producción, de ahí que se considere prioritaria la optimización energética de estos sistemas. Por otra parte, optimizando el consumo de energía se facilitará el cumplimiento de las regulaciones ambientales y energéticas, cada vez más restrictivas, que afectan al sector, logrando unos invernaderos más amigables con el medio ambiente y, a la vez, más competitivos en el mercado europeo.

Un elevado consumo de energía no sólo repercute desfavorablemente en el medio ambiente, sino que también influye negativamente en el balance económico de las explotaciones agrícolas y en la imagen global que el sector hortofrutícola transmite a la sociedad. De hecho, el gasto medio de los invernaderos en energía ha crecido en los últimos años, en gran parte debido a un uso poco eficiente de ella. Se hace necesario reducir el

consumo mejorando la eficiencia y utilizar fuentes de energía respetuosas con el medio ambiente.

10.2 Medidas a desarrollar para mejorar la eficiencia energética.

Para contribuir a la mejora de la eficiencia energética, deberán considerarse una serie de factores directamente implicados:

- Las condiciones climáticas de la zona de ubicación.
- Las particularidades locales de la zona.
- Las necesidades climáticas en el interior de los invernaderos según cultivos, variedades, época del año y estado fisiológico de las plantas.
- La relación coste-eficacia de las inversiones en los equipos de control climático en los invernaderos.

Las recomendaciones para dicha mejora estarán basadas en una combinación de normas de construcción y equipamiento de los invernaderos: materiales de construcción, aislamientos, ventilación, calefacción e iluminación principalmente, de tal forma que se pueda garantizar un funcionamiento integrado de los diferentes sistemas sin que el funcionamiento de alguno de ellos suponga un derroche de energía.

Los aspectos básicos sobre los que se incide y que se consideran más importantes para contribuir al ahorro y eficiencia energética, son los siguientes:

- Aislamiento y estanqueidad adecuados de los invernaderos.
- Regulación correcta de los equipos de climatización.
- Iluminación eficiente.
- Revisión y mantenimiento de los equipos.
- Aplicación de energías renovables para la generación de calor.

La demanda energética de un invernadero depende de la relación entre las condiciones climáticas exteriores y las necesidades ambientales de los cultivos dentro del invernadero. El

control climático mejora el confort de las plantas y ayuda a conseguir los objetivos productivos del invernadero.

Los sistemas de calefacción y ventilación se usan para controlar la temperatura interior. Su objetivo es el de lograr valores de humedad y temperatura lo más cercanos posibles a los óptimas de producción. En la actualidad, en el sector de los semilleros e invernaderos para flores y plantas ornamentales, está muy extendida la utilización de técnicas constructivas y de control climático eficientes por la elevada sensibilidad de su producción a las condiciones ambientales.

Debido a las características productivas del sector hortícola, las medidas de climatización y aislamiento no están tan extendidas. En general, las especies hortícolas no son tan sensibles a las fluctuaciones térmicas como los cultivos ornamentales o florales, y durante casi todo el año, en muchas zonas climáticas, pueden cultivarse en invernaderos con ventilación natural como único sistema de climatización.

El material de cubierta utilizado es uno de los factores que influyen de forma decisiva en las necesidades de calefacción o refrigeración de las plantas cultivadas en los invernaderos. Igualmente tienen importancia la propia refrigeración que proporcionan estas mismas plantas a través de su transpiración y el calor que entra o sale a través de los sistemas de ventilación.

Con el objeto de estimar las necesidades de calefacción o refrigeración en un invernadero, se ha realizado un estudio basado en el principio del balance de energía.

10.3 Cálculo de las necesidades energéticas.

Resolver la ecuación del balance de energía en un invernadero permite conocer, entre otros, los parámetros de consumo y la potencia de calefacción (Q_{cal}) o de refrigeración (Q_{ref}) a instalar, la respuesta del invernadero en situaciones meteorológicas críticas, etc.

Condiciones meteorológicas que influyen en las necesidades energéticas:

En el cálculo de las necesidades de climatización del invernadero (Q_{cli}) intervienen tanto las condiciones climáticas a las que está expuesto el invernadero como las condiciones climáticas que es necesario mantener en su interior para el correcto desarrollo de los cultivos. Los principales datos climáticos que caracterizan el clima de una zona son los siguientes:

- Intensidad máxima de radiación solar
- Temperatura y humedad exteriores
- Dirección y velocidad media del viento

El principal parámetro en el balance energético de un invernadero es la temperatura exterior, que determina de forma directa las necesidades de refrigeración y calefacción. Existen diferentes valores de temperatura exterior que se pueden utilizar en el diseño de los sistemas de climatización. Los principales valores de temperatura exterior que se pueden considerar son:

- Temperatura media mensual del mes más cálido
- Temperatura media de las máximas diarias del mes más cálido
- Temperatura máxima absoluta del año
- Temperatura media mensual del mes más frío
- Temperatura media de las mínimas mensuales
- Temperatura mínima absoluta del año

En este caso, debido a la climatología, y, en consecuencia el proyecto desarrollado, los datos decisivos se refieren a las temperaturas mínimas.

Condiciones climáticas favorables para los cultivos en invernadero

La temperatura del aire que se debe mantener dentro del invernadero depende del tipo de cultivo que se desarrolla en su interior, del nivel de confort deseado y de su estado de crecimiento (según la tabla adjunta).

Especie	Temp. mínima letal	Temp. mínima biológica	Temp. óptima		Temp. máxima biológica
			Noche	Día	
Tomate	(-2) a 0	8-10	13-16	22-26	26-30
Pepino	0	10-13	18-20	24-28	28-32
Melón	0	12-14	18-21	24-30	30-34
Judía	0	10-14	16-18	21-28	28-35
Pimiento	(-2) a 0	10-12	16-18	22-28	28-32
Berenjena	(-2) a 0	9-10	15-18	22-26	30-32

Figura 00.3.1 Valores de temperatura adecuados para varios cultivos hortícolas en invernadero.

Estos valores sirven como base para establecer las consignas de funcionamiento de los sistemas de climatización, además de para calcular su potencia de diseño a través del balance de energía. Los valores de consigna de los sistemas de calefacción suelen variar en función del periodo del día, así como según el cultivo (ver tabla anexa).

Especie	Temperatura de calefacción del aire	
	Noche	Día
Tomate	17,5-20 °C	18,5-20 °C
Pepino	19-21 °C	21-23 °C
Pimiento	18-20 °C	22-23 °C
Berenjena	19-21 °C	21-22 °C

Figura 00.3.2 Temperaturas de consigna de la calefacción.

En el diseño se deben considerar las condiciones de funcionamiento más restrictivas, por lo que la calefacción se diseñará para satisfacer las necesidades de calor durante las noches invernales.

Las necesidades energéticas del invernadero dependen fundamentalmente del salto térmico, es decir, la diferencia entre la temperatura interior y exterior que se desea mantener (ver tabla anexa).

Salto térmico ($T_i - T_e$)	Potencia caldera ($W \cdot m^{-2}$)	Necesidades reales ($W \cdot m^{-2}$)
5	115	50
10	175	105
15	290	121

Figura 00.3.3 Potencia instalada media y necesidades de calefacción en función del gradiente.

Por el contrario, los sistemas de refrigeración se diseñarán para poder mantener unas condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de las plantas durante el periodo diurno en la época estival.

Además de la temperatura del aire es importante mantener un adecuado régimen higrométrico para evitar el estrés hídrico provocado cuando su valor desciende demasiado, o la condensación de agua sobre el cultivo o la cubierta del invernadero cuando es excesiva.

Especie	Temperatura óptima del sustrato	CO ₂ (ppm)	Humedad relativa (%)
Tomate	15-20	1000-2000	55-60
Pepino	20-21	1000-3000	70-90
Melón	20-22	–	60-80
Judía	15-20	–	–
Pimiento	15-20	–	65-70
Berenjena	15-20	–	65-70

Figura 00.3.4 Valores de humedad adecuados a cada cultivo hortícola en invernadero.

10.4 Cálculo del balance energético en un invernadero.

Los términos que intervienen en el balance energético de un invernadero se indican en forma de intensidad de energía. Según el Primer Principio de la Termodinámica, la energía ganada por el sistema se equilibra con la energía perdida por el mismo. Sin embargo, cada autor suele considerar una serie de componentes del balance energético despreciando otros. Existen diversos modelos simplificados del balance de energía (Walker, 1965; Walker et al., 1976; Kindelan, 1980; Arinze et al., 1984; Boulard y Baille, 1987; Al-Jamal, 1994; Baille, 1996).

Una forma simplificada de la ecuación del balance de energía en el invernadero puede ser:

$$\underbrace{R_n + Q_{cli}}_{\text{Energía ganada}} = \underbrace{Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue}}_{\text{Energía perdida por el aire del invernadero}} \quad (W)$$

Donde:

- R_n : Radiación neta
- Q_{cli} : Energía calorífica que es necesario aportar (Q_{cal}) o eliminar (Q_{ref}) del invernadero
- Q_{cc} : Calor perdido por conducción-convección
- Q_{ren} : Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior
- Q_{evp} : Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo
- Q_{sue} : Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo

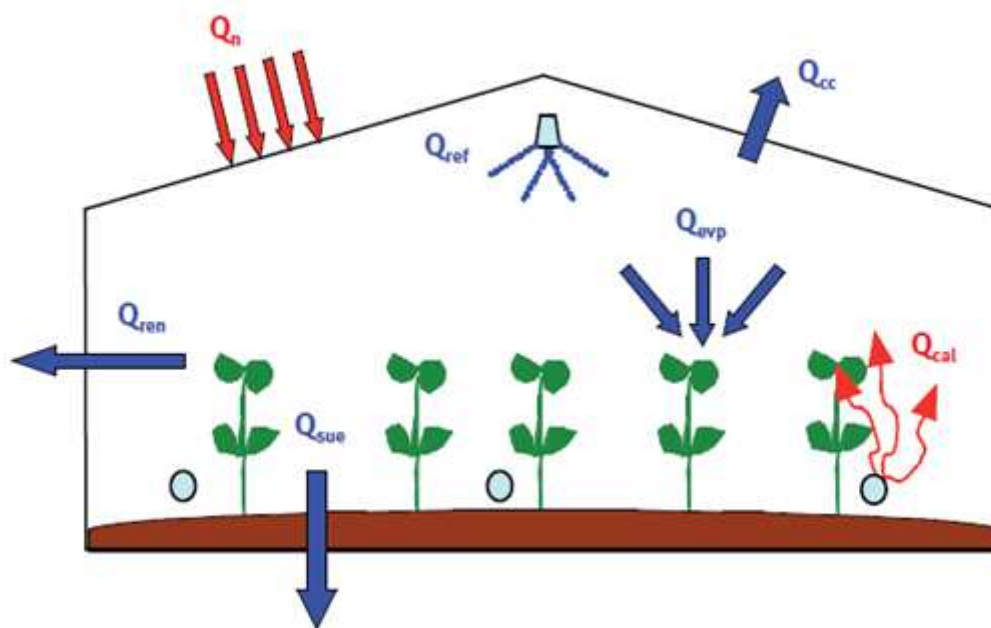


Figura 00.4.1. Balance energético en un invernadero

A continuación se desarrollan las diferentes expresiones matemáticas que permiten evaluar la energía calorífica que se introduce o se pierde en un invernadero, así como los parámetros y variables que intervienen en su cálculo.

Radiación neta, R_n

Para el cálculo del balance radiativo a nivel del invernadero se puede considerar que la radiación neta que calienta el invernadero es igual a la energía absorbida por la cubierta, por el suelo y las plantas menos la radiación emitida por la cubierta:

$$R_n = S_s \cdot [I \cdot (\alpha + \tau \cdot \alpha_s)] + S_c \cdot \sigma \cdot \tau_{ter} \cdot (\epsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \epsilon_{ter} \cdot T_c^4) \quad (W)$$

Donde:

S_s : superficie captadora de la radiación solar (m^2)

I : radiación solar incidente (W/m^2)

α : coeficiente de absorción de la cubierta para la radiación solar (Tabla 8)

τ : coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación solar

S_c : superficie de suelo cubierta (m^2)

σ : constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

τ_{ter} : coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación térmica

ϵ_{ter} : emisividad del material de cubierta para la radiación térmica

T_c : temperatura absoluta de la cubierta (K)

Calor perdido por conducción-convección, Q_{cc}

En los intercambios energéticos por conducción-convección entre el interior del invernadero y el ambiente exterior, el calor que pasa por unidad de superficie de cubierta (m^2) y por unidad de tiempo (s), puede expresarse mediante las siguiente ecuaciones:

$$Q_{cc} = S_d \cdot K_{cc} \cdot (t_i - t_e) \quad (W)$$

Siendo S_d la superficie desarrollada de la cubierta del invernadero (m^2), t_i la temperatura interior ($^{\circ}C$) y t_e la temperatura exterior ($^{\circ}C$).

El coeficiente global de pérdidas de calor por conducción-convección es:

$$K_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{1}{h_e}} \quad (W/m^2 \cdot ^{\circ}C)$$

Donde:

e_c : espesor del material de cobertura (m)

λ_c : conductibilidad térmica del material de cobertura ($W/m^3 \cdot K$)

h_i : coeficiente superficial de convección para el ambiente interior del invernadero.

h_e : coeficiente superficial de convección para el ambiente exterior del invernadero.

Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior, Q_{ren}

La entrada de aire procedente del exterior supone una pérdida o ganancia de energía según las diferencias de temperatura y humedad en el exterior:

$$Q_{ren} = V_{inv} \cdot R/3600 \cdot \rho \cdot [c_{pa} \cdot (t_i - t_e) + \lambda_o \cdot (x_i - x_e) + c_{pv} \cdot (x_i \cdot t_i - x_e \cdot t_e)] \quad (W)$$

Donde:

V_{inv} : volumen del invernadero (m^3)

c_{pa} : calor específico del aire (a $0^{\circ}C$ es $1006,92540 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

c_{pv} : calor específico del vapor recalentado (a $0^{\circ}C$ es $1875,6864 J/kg \cdot K$)

x_i, x_e : humedades absolutas interiores y exteriores, respectivamente (kg/kg)

– La densidad del aire es función de la temperatura y la presión (Donatelli et al., 2006):

$$\rho = \frac{1000 \cdot p}{1,01287 \cdot (t + 273,16)}$$

La presión dentro del invernadero p se puede considerar igual a la presión atmosférica, que es función de la elevación sobre el nivel del mar (Jensen et al., 1990):

$$p_{\text{atm}} = 101,3 \cdot \left[\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right]^{5,26}$$

– El calor latente de vaporización se calcula como (Brooker, 1967):

$$\lambda_0 = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot t \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

– La humedad absoluta de una masa de aire húmedo es función de la humedad relativa (ASAE, 1999):

$$x = 0,6219 \cdot \text{HR} \cdot e_s / (p - \text{HR} \cdot e_s)$$

HR: humedad relativa

El cálculo de la presión parcial del vapor en saturación se puede realizar mediante la expresión de Magnus o Tetens (Murray, 1967; Dalezios et al., 2002):

$$e_s = 6,1078 \cdot e^{\left[\frac{17,269 \cdot t(^{\circ}\text{C})}{t + 237,3} \right]} \text{ (hPa)}$$

La tasa de renovación de aire R debido a la infiltración de aire a través de la estructura cuando las ventanas están cerradas es función del tipo de estructura.

Tipo de cubierta	R (h ⁻¹)
Nueva construcción	
Láminas de plástico	0,75-1,0
Vidrio o fibra de vidrio	0,5-1,0
Construcciones antiguas	
Vidrio o fibra de vidrio	1-2
Láminas de plástico	2-4

Figura 00.4.2. Tasas de renovación de aire por infiltración a través de la estructura.

Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo, Q_{evp}

En los últimos años se han realizado un gran número de estudios para determinar el valor del calor latente en condiciones de invernadero y para diversos cultivos hortícolas. En general son funciones propias para cada cultivo, dependientes de la radiación solar, el déficit de presión de vapor en el interior y la velocidad de aire en el invernadero.

Para un cultivo de tomate en invernadero se puede utilizar la siguiente expresión (Jolliet y Bailey, 1992):

$$Q_{evp} = S_c \cdot (0,2 \cdot R_{sol} + 5,5 \cdot DPV_i + 5,3 \cdot u) \quad (W)$$

Siendo R_{sol} la radiación solar diurna (W·m⁻²) (se corresponde con los valores positivos de R_n) y u la velocidad del aire en el invernadero (m·s⁻¹).

Para un cultivo de gerbera en invernadero los coeficientes de la expresión anterior son diferentes (Marfà et al. 2000):

$$Q_{evp} = S_c \cdot (0,3 \cdot R_{sol} + 38,54 \cdot DPV_i + 15,58) \quad (W)$$

El déficit de presión de vapor en el interior del invernadero es:

$$DPV_i = e_s(t_i) - e_i \quad (kPa)$$

Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo, Q_{sue}

Una parte de las pérdidas de calor en el invernadero, alrededor del 10%, se producen a través del suelo. Su cálculo se realiza mediante la fórmula:

$$Q_{sue} = K_s \cdot S_c \cdot (t_i - t_s) / p \text{ (W)}$$

Donde:

K_s : coeficiente de intercambio térmico a través del suelo ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

T_s : temperatura del suelo del invernadero ($^\circ C$)

p : profundidad a la que estima la diferencia de temperatura (m).

11 Datos del invernadero y de la necesidad de aporte térmico para caldeo interior.

El invernadero para el que se proyecta la instalación geotérmica en estudio se encuentra situado en el término municipal de Vegas del Condado, siendo su situación en coordenadas UTM Huso 30 ETRS89 306.300, 4.729.300 y altitud: 860 m.

Es un invernadero multitúnel de 24 m x 80 m, de 3 módulos y con una altura bajo canal de 4,5 m.

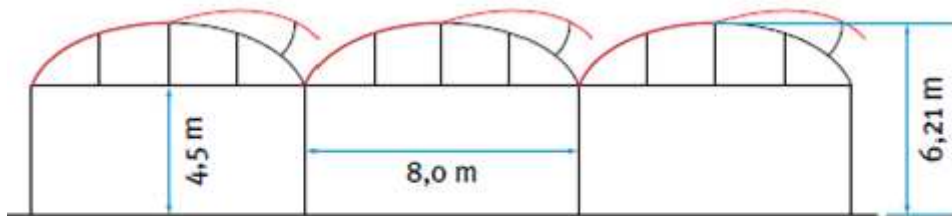


Figura 01.1. Esquema de la estructura del invernadero.

Datos climáticos de la zona

Los principales datos climáticos que caracterizan la zona son los siguientes:

- Radiación solar global: 1.000 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (Diciembre), 6.200 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (Julio) y 3.300 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (Media anual periodo 1998-2002)
- Intensidad máxima de radiación: 195 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) (Diciembre) y 870 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) (Julio)
- Horas de sol: 2.100-2.300 horas
- Dirección del viento: viento del norte-noroeste, produce un efecto desecador y frío
- Velocidad media del viento: 11 (km/h)

El principal parámetro en el balance energético de un invernadero es la temperatura exterior, que determina de forma directa las necesidades de refrigeración y calefacción. Existen diferentes valores de temperatura exterior que se pueden utilizar en el diseño de los sistemas de climatización. Los principales valores de temperatura exterior en León son:

- Temperatura media mensual del mes más cálido: 19,6 (°C) (Julio)
- Temperatura media mensual del mes más frío: 3,1 (°C) (Enero)
- Temperatura media de las máximas diarias del mes más cálido: 26,1 (°C) (Julio)
- Temperatura máxima absoluta del año: 38,0 (°C)
- Temperatura media de las mínimas diarias del mes más frío: 1,6 (°C) (Enero)
- Temperatura media de las mínimas mensuales: -4,9 °C en el mes de enero.

Para el caso más desfavorable para la calefacción en el que considera la temperatura media de las mínimas mensuales en la zona de Vegas del Condado-Boñar en el mes más frío, de -4,9 °C e intentando mantener dentro del invernadero una temperatura de 16 °C, sería necesario un aporte de calor de 400 kW.

En el mes más desfavorable, en situación de temperatura mínima, la demanda de calefacción sería de unos 286 w por metro cuadrado de superficie de invernadero, con un desglose estimado por componentes:

T_i (°C)	T_e (°C)	R_n (W/m ²)	Q_{cc} (W/m ²)	Q_{ren} (W/m ²)	Q_{evp} (W/m ²)	Q_{sue} (W/m ²)	Q_{cli} (W/m ²)
16,0	-4,9	-1,3	-131,8	-77,4	-26,1	-50,0	-286,6

Si se consideran otros valores de temperatura exterior, como la temperatura media mensual del mes más frío (4,8 °C en enero), una instalación térmica de 160 kw es capaz de mantener los 16 °C, planteados como objetivo del estudio agronómico-energético de base.

Con esta potencia de calefacción es posible mantener una temperatura interior de aproximadamente 12 °C en los cortos periodos en el que se producen temperaturas tan bajas (próximas a las mínimas medias del mes más frío), lo que garantizará que el cultivo no sufra daños.

12 Medidas complementarias de ahorro energético

Es importante destacar que el empleo de pantallas térmicas bajo la cubierta del invernadero, y de doble lámina en los laterales, permiten reducir las pérdidas de calor por convección-conducción y por radiación infrarroja (durante la noche).

Estos dos elementos hacen que el calor que debe aportar el sistema de calefacción sea un 8,7% inferior al necesario en caso de no utilizarlos (según estimaciones de la Universidad de Almería).

El sistema de nebulización permite mantener los valores de humedad dentro del invernadero alrededor del valor de consigna, normalmente situado en el 60%. En verano el sistema permite disminuir la temperatura dentro del invernadero incluso por debajo de los valores que se alcanzan en el exterior. El sistema de nebulización se activa cuando la temperatura supera los 34,8 °C y pulveriza agua durante al menos 2 segundos a intervalos de tiempo de más de 4 segundos. En la mayoría de situaciones climáticas la utilización de las mallas de sombreado, que pueden reducir hasta en un 30% la energía que es necesario eliminar del invernadero, y la evapotranspiración del cultivo, que absorbe hasta un 50% de la energía solar, permiten mantener la temperatura interior en los valores deseados. La malla de sombreado se despliega cuando la temperatura supera los 30 °C. En el caso de temperaturas exteriores extremas de 38 °C la utilización de la nebulización puede mantener la temperatura dentro del invernadero a 25 °C.

Con carácter general, en el sistema de producción agraria del invernadero se puede ahorrar energía de dos formas: mejorando las estructuras y los sistemas de calefacción. Las modificaciones estructurales generalmente reducen la infiltración y mejoran el aislamiento térmico del invernadero, de forma permanente o sólo durante los periodos más fríos. Las modificaciones de los sistemas de calefacción tratan de optimizar la recuperación de energía calorífica y suministrar el calor a las plantas de manera más eficiente. Existen otros aspectos a considerar entre los que podemos destacar la disminución del porcentaje de superficies laterales frente al total y de la pendiente de la cubierta.

Mejora del aislamiento térmico de los invernaderos

En primer lugar se deben utilizar materiales de cubierta térmicos, es decir, lo más impermeable posible a las radiaciones infrarrojas de onda larga. Las técnicas de conservación de energía, como construcción de invernaderos de doble pared inflados o uso de pantallas térmicas, además de disminuir las pérdidas de calor y aumentar la temperatura del invernadero producen otros cambios en su microclima, como por ejemplo la disminución de la tasa de ventilación, con efectos generalmente negativos. Por ello su instalación debe tener en cuenta estos inconvenientes y prever la forma de solventarlos.

Pantallas térmicas

Las pantallas térmicas reducen significativamente las pérdidas de calor en los invernaderos, dificultan las pérdidas de calor y disminuyen el volumen de aire a calentar, por lo que se han extendido en toda Europa para economizar los gastos de combustible en invernaderos con calefacción.

La utilización de pantallas térmicas cerradas, sin huecos entre las fibras que constituyen la malla, colocadas entre el cultivo y la cubierta del invernadero también reduce la transferencia de energía por convección a través de la cubierta. Esta reducción es mayor cuanto menor es la emisividad de la pantalla a la radiación infrarroja, como ocurre en el caso de las pantallas aluminizadas (Bailey, 1978).

Los principales efectos que producen en los invernaderos son:

- Aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero en 2-3 °C, como consecuencia de la disminución de la pérdida de radiación térmica durante la noche.
- Aumento de 1 a 2 °C de la temperatura de las plantas y del suelo.

- Reducción de las pérdidas de calor por infiltración del aire, que se ven menos afectadas por el viento.
- Disminución significativa de la transpiración nocturna del cultivo y, como consecuencia, reducción del calor consumido en el flujo evaporativo.

El uso de pantallas aluminizadas móviles produce un aumento de los rendimientos que puede alcanzar el 40%.

Los mejores resultados se obtienen cuando se despliegan las pantallas a finales del día y se recogen por la mañana.

Permiten disminuir el consumo de combustible destinado a calefacción del 20 al 27%, dependiendo del tipo de pantalla utilizada.

Su empleo durante la noche también produce un almacenamiento de energía en el suelo y el cultivo que repercute de forma positiva durante el día (Pirard et al., 1994).

Una pantalla térmica debe poseer un factor de transmisión lo más pequeño y un factor de reflexión lo más elevado posible en el infrarrojo medio y largo (2,5-40 μm) (Tesi, 1989).

También se pueden utilizar en el periodo estival como sistema para reducir la radiación solar incidente. Dada su alta capacidad reflectiva pueden conseguirse reducciones de hasta 7 °C en la temperatura de los frutos (Plaisier, 1991).

Las pantallas suelen ser de polietileno o poliéster, con una o dos caras aluminizadas.

Las más eficientes son las que tienen ambas caras aluminizadas ya que consiguen una temperatura del cultivo más alta, siendo además una buena alternativa de sombreo.

Si sólo tiene una de ellas aluminizada, conviene que sea la que mira hacia el exterior (Baille et al., 1985).

Invernaderos con paredes dobles

Los invernaderos con dobles paredes son un método eficaz contra las bajas temperaturas invernales y puede considerarse como una alternativa de los sistemas de calefacción en buena parte del año. En ellos se obtienen mejores resultados que en invernaderos de pared simple.

Este tipo de invernaderos se construyen incorporando una segunda lámina de polietileno de 50 ó 100 μm de espesor (125 ó 250 galgas). Este método puede reducir las pérdidas de calor en un 40-50% (Bianchi, 1989; Gutiérrez Montes et al., 1992) y de hasta un 57% en el consumo de calefacción (Bauerle y Short, 1977). Como consecuencia se consiguen aumentos de la temperatura del invernadero de hasta 8 °C (Rosocha, 1993), así como la de las plantas (Amsen, 1981).

Este sistema de control climático está aún poco extendido en los invernaderos españoles y su utilización se limita a algunos semilleros donde es muy importante el control climático para un correcto desarrollo de las plántulas, más sensibles a las variaciones de temperatura que las plantas ya desarrolladas.

La utilización de una doble pared en los invernaderos no sólo modifica su temperatura, sino la humedad, la luz y el CO₂ disponible en su interior. Al reducir la infiltración de aire se reducen las pérdidas de calor, principalmente durante la noche, así como la entrada de CO₂, por lo que puede llegar a ser necesario el enriquecimiento carbónico (Bauerle y Short, 1981).

Sin embargo, el principal inconveniente es que al ser fijas producen una importante pérdida de luz durante el día (Ferare y Goldsberry, 1984), que puede llegar a ser de un 10-15% (Plaisier, 1991).

Aumento de la hermeticidad del invernadero

Los mayores ahorros de energía están relacionados principalmente con la disminución de la tasa de infiltración de aire en los invernaderos. Así, en un invernadero viejo que no esté correctamente cerrado, se podrían conseguir ahorros de hasta un 40% en combustible sólo sellando todas las grietas por las que se producen las fugas de calor. Si el invernadero es relativamente nuevo y con un cerramiento adecuado, una mayor hermeticidad sólo podría producir un ahorro del 5% anual. Cada vez es más importante la hermeticidad de los invernaderos, debido al ahorro energético y fundamentalmente a que supone una barrera física al paso de insectos vectores de virus.

Una ventana parcialmente abierta puede permitir varias renovaciones de aire por hora, siendo necesario un aporte adicional de combustible para calentar este aire. Durante el invierno se pueden cerrar algunas de las ventanas del invernadero y cubrirlas con plástico para reducir la infiltración de aire. También deben utilizarse materiales aislantes donde existan fisuras en la estructura, alrededor de las puertas y las aberturas y donde se une el material de cubierta a los soportes de la estructura. Igualmente es necesario tapar y sellar cualquier otro tipo de hendiduras para asegurar que el invernadero queda perfectamente aislado (tapar los orificios por los cuales pueda escaparse el aire). Lograr un óptimo aislamiento térmico permite proteger mejor el cultivo del frío en el periodo invernal. Si el material de cubierta está fisurado (polietileno rasgado, paneles de vidrio fracturados o placas de policarbonato rotas) hay que reemplazarlo inmediatamente para reducir las pérdidas de calor.

La utilización de materiales aislantes (como placas de policarbonato) en la pared norte (en el hemisferio norte) y del resto de las paredes hasta la altura de las plantas, puede reducir las pérdidas de calor por conducción en los invernaderos de cubierta plástica.

Del mismo modo conviene que las instalaciones de pantallas térmicas y las dobles cubiertas plásticas sean lo más herméticas posible, para evitar el movimiento del aire a través de ellas. Así, en el caso de las pantallas térmicas se pueden utilizar pequeñas láminas del mismo material para sellar la unión entre los paños consecutivos o en su unión con las mallas colocadas verticalmente en los laterales.

En zonas muy frías se pueden aislar los cimientos colocando juntas de poliuretano o poliestireno de unos 5 cm de espesor a unos 30-40 cm bajo tierra. Esto puede incrementar la temperatura del suelo al lado de los laterales en más de 5 °C durante el invierno. Otra medida que puede contribuir a ahorrar energía es el aislamiento de las paredes laterales mediante juntas de protección de goma-espuma de 2 a 5 cm de espesor.

Cortavientos

El viento exterior es un aspecto fundamental en las pérdidas de energía del invernadero. Se debe minimizar su efecto mediante cortavientos y eligiendo correctamente la orientación de los invernaderos. Vientos de tan sólo 25 km/h pueden duplicar la pérdida de calor de un invernadero. Para evitar que los cortavientos actúen como barreras al proceso de ventilación en los periodos cálidos, la medida más aconsejable es la instalación de cortavientos móviles; cuando esto no es posible se hace necesario mantener una distancia adecuada entre el cortavientos y la estructura del invernadero.

13 Medidas complementarias de mejora de la eficiencia energética.

El esfuerzo realizado para mejorar la eficiencia energética de los sistemas de calefacción se ha concentrado básicamente en tres aspectos:

- Mejorar la eficiencia de la generación de calor.
- Mejorar el control de la emisión del calor y de los sistemas de distribución.
- Utilizar la energía geotérmica, solar u otras energías renovables.

La fase de generación es posiblemente la más importante de todo el proceso de utilización de energía y engloba, por una parte, la transformación de la energía contenida en el combustible en energía térmica, y por otra, la transferencia al agua que sirve de transporte hasta el interior del invernadero. En el caso de este proyecto se han resuelto ambas al utilizarse un aprovechamiento geotérmico con bomba de calor.

Mejora del control de la emisión del calor y de los sistemas de distribución

Otra forma de mejorar la eficiencia energética en los sistemas de calefacción es distribuyendo adecuadamente la cantidad de calor necesaria para un correcto desarrollo del cultivo. Para ello hay que evitar calentar excesivamente ciertas zonas del invernadero que no redundan en una mejora de las condiciones de crecimiento del cultivo.

Control de la temperatura de distribución de calefacción

Una adecuada gestión de los equipos de calefacción existentes en un invernadero es la forma más rápida y más barata de reducir su consumo energético.

Para ello es fundamental identificar los potenciales problemas controlando la temperatura del aire a la altura de las plantas. Si la calefacción funciona correctamente, la temperatura del aire debe ser uniforme y coincidir con los valores de consigna. Si la temperatura media es

más alta que la necesaria se puede reducir bajando la consigna del sistema de calefacción. La variación de temperatura se puede detectar con mayor facilidad en las horas iniciales del día cuando la temperatura del aire exterior es más baja y el sol no ha empezado a influir en las necesidades de calefacción. Mantener un invernadero un grado más caliente de lo necesario incrementa el coste de energía en un 10-15%.

Las diferencias entre la temperatura media del aire y la temperatura del punto de referencia de la calefacción suelen estar causadas por errores en la calibración del termostato o las sondas de temperatura o por su colocación en una posición relativamente fría dentro del invernadero. Las cajas de protección con aspiración permiten que los termostatos midan la temperatura del aire con exactitud y reduzcan el error causado por su ubicación. La instalación de las tuberías de calefacción en el suelo o bajo las mesas de cultivo puede permitir que la temperatura de las tuberías sea unos 2-3 °C más baja, con el consiguiente ahorro de energía.

Ventiladores desestratificadores

La temperatura del aire también debe ser uniforme desde el cultivo a la cubierta del invernadero. Una temperatura más elevada en la proximidad del techo indica un movimiento inadecuado del aire en el invernadero. Una mala circulación del aire puede producir una concentración del aire frío en la zona del cultivo y de aire caliente bajo la cubierta.

Reducir la temperatura del aire junto al techo en un grado, mediante una mejora de la circulación del aire, puede bajar el consumo de combustible en un 10%. El aire se puede mezclar mediante ventiladores desestratificadores colocados dentro del invernadero. Estos sistemas se utilizan en invernaderos calefactados para evitar bolsas de aire caliente en la zona más alta de la explotación.

Bombas de impulsión de caudal variable

Los sistemas de calefacción de caudal variable equipados con bombas con variador de frecuencia maximizan el ahorro de energía y optimizan el funcionamiento de la instalación. Mediante las bombas de caudal variable se consigue impulsar el agua caliente por la red de tuberías encargadas de distribuir el calor dentro del invernadero, manteniéndola a presión constante aun cuando varía la demanda de calefacción.

El variador de frecuencia se encarga de ir regulando el caudal del circuito secundario, siguiendo las variaciones en la presión de la red que vaya produciendo la demanda de calor en cada momento. Comparado con un sistema de distribución a caudal constante, el caudal variable presenta las ventajas de poder conseguir una temperatura constante de impulsión del agua y un ahorro de energía de bombeo frente al de caudal constante, al bombear solamente el caudal de agua necesario en la instalación en cada momento.

14 Análisis del sistema de calefacción

La potencia que suministra un sistema de calefacción depende principalmente de la superficie de tuberías emisoras y de su temperatura.

Potencia útil emitida por las tuberías de calefacción

La potencia útil que tienen que emitir las tuberías del sistema de calefacción debe compensar el déficit energético del invernadero (Q_{cal}). La potencia útil que emite el sistema de calefacción por agua se puede calcular en función de la temperatura media de las tuberías de calefacción y de su geometría:

$$Q_{cal} = L_p \cdot (\pi \cdot D_o + \eta \cdot p) \cdot (q_c + q_r) \quad (W)$$

Donde:

L_p : longitud de las tuberías de calefacción dentro del invernadero (m)

D_o : diámetro exterior de la tubería (m)

η : eficacia de la aleta

– Perímetro de las aletas, p :

$$p = 2(2l + z) \quad (m)$$

Siendo l la anchura de la aleta (m) y z el espesor de las aletas (m).

Transferencia de calor por convección, q_c

El calor transmitido por la superficie de las tuberías por convección es:

$$q_c = h_o \cdot (T_o - T_i) \quad (W/m^2)$$

Siendo T_o la temperatura de la superficie del tubo de calefacción ($^{\circ}\text{C}$) y T_i la temperatura del aire que rodea las tuberías (fluido en flujo libre) ($^{\circ}\text{C}$).

El coeficiente de transferencia de calor de la superficie exterior también se puede determinar, para el caso de flujo del laminar en tuberías de calefacción, mediante la expresión:

$$h_o = 1,32 \cdot ((T_o - T_i) / D_o)^{0,25} \quad (\text{W/K} \cdot \text{m}^2)$$

– Transferencia de calor por radiación, q_r

El calor transmitido por las tuberías mediante radiación es:

$$q_r = \sigma \cdot \epsilon_{tb} \cdot (T_o^4 - T_i^4) \quad (\text{W/m}^2)$$

Siendo ϵ_{tb} la emisividad de las tuberías de calefacción (en el cuadro anexo se incluye el de algunos materiales).

Material	ϵ_{tb}
Acero inoxidable	0,26-0,42
Aluminio	0,03-0,05
Asfalto	0,88
Hierro oxidado	0,30-0,57
Pintura negra	0,80-0,92
Pintura blanca	0,85-0,90

Figura 134.1. Valores de la emisividad para algunos materiales utilizados en tuberías de calefacción.

Potencia útil transmitida por el agua caliente

Por otro lado, se puede calcular la potencia útil del sistema de calefacción en función del caudal de agua que circula por las tuberías (limitado por el valor máximo admisible en el sistema de generación, en este caso la bomba de calor) y la temperatura de entrada y de salida del invernadero:

$$Q_{cal} = q_{uw} \cdot c_w \cdot (T_{ent} - T_{sal}) \quad (W)$$

Donde:

q_{uw} : tasa de flujo de masa del agua de calefacción (kg/s)

c_w : calor específico del agua líquida, 4.190 (J/kg·K)

T_{ent} : temperatura del agua a la entrada de las tuberías (K)

T_{sal} : temperatura del agua a la salida de las tuberías (K)

– La temperatura media del agua se corresponderá con la utilizada en el cálculo inicial de la potencia útil:

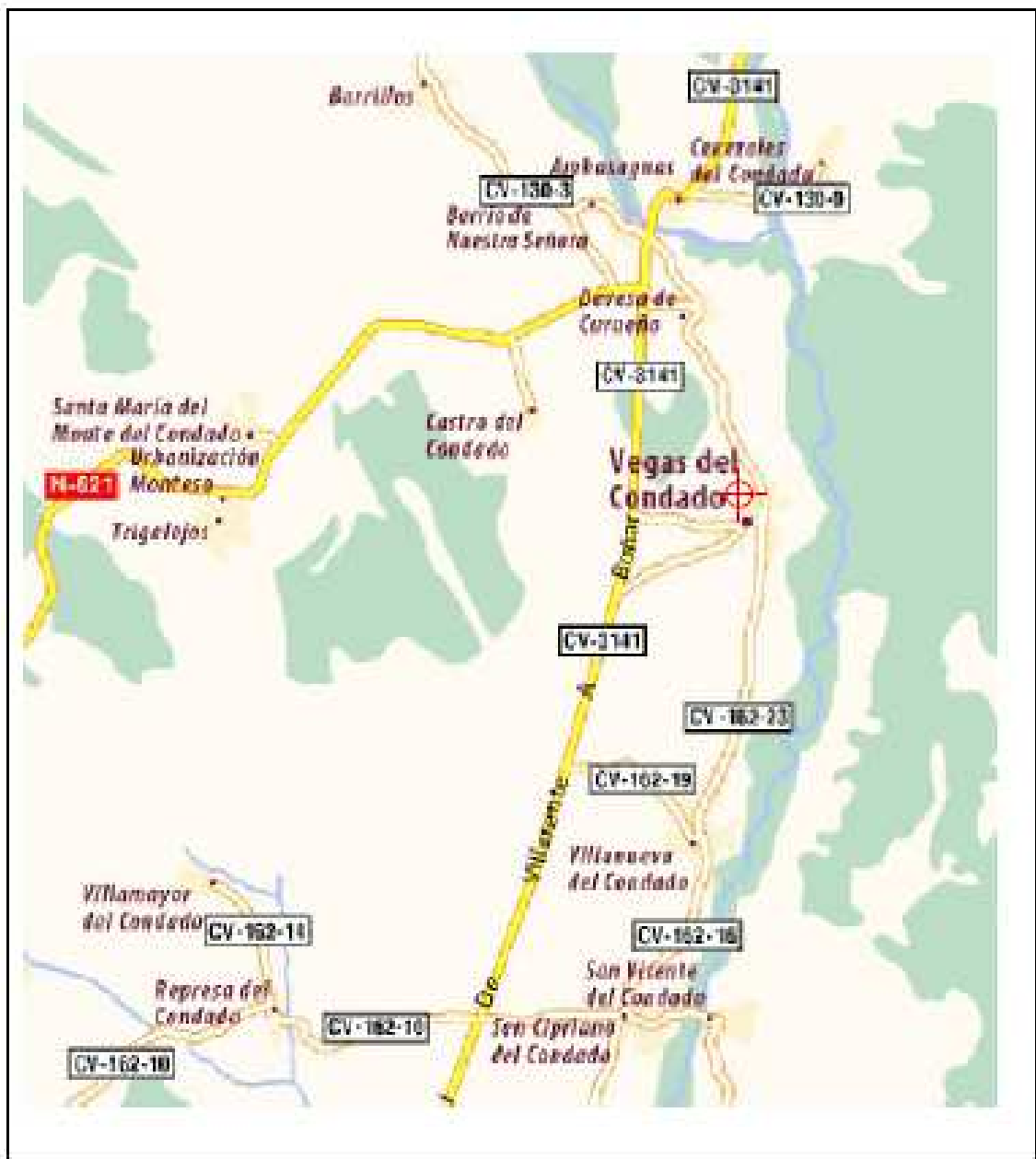
$$T_o = T_{med} = (T_{ent} + T_{sal}) / 2 \quad (^\circ C)$$

Calor eliminado por nebulización

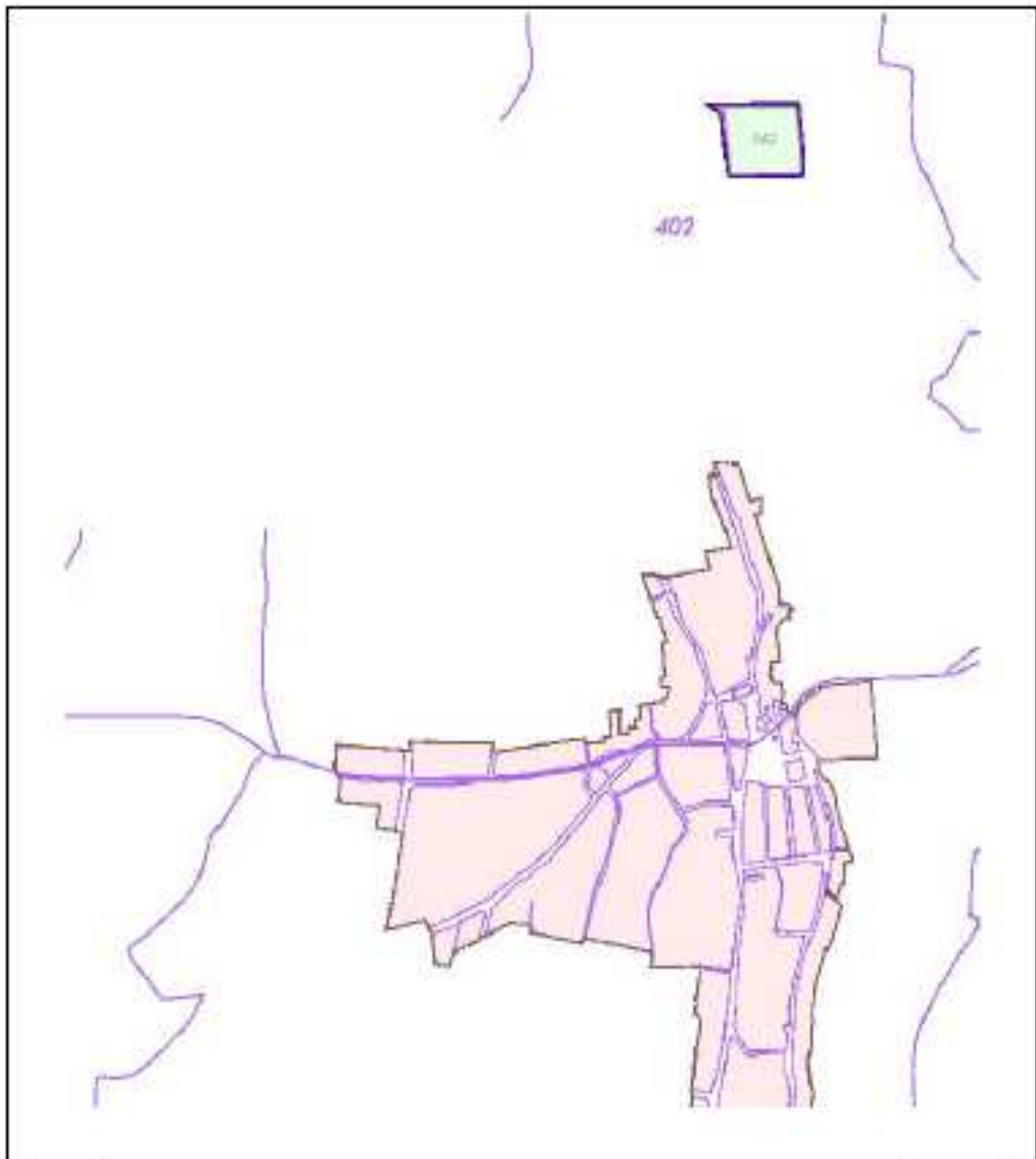
La evaporación de agua dentro del invernadero produce una cesión de calor del aire interior que origina una disminución de su temperatura. Su cálculo se realiza mediante la expresión:

$$Q_{ref} = q_{evp} \cdot \lambda_o \quad (W)$$

Siendo q_{evp} el caudal de agua aportada por las boquillas de nebulización (kg/s) y λ_o el calor latente de vaporización del agua (J/kg).



 UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS 	
MÁSTER EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS	
PROYECTO DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO PARA USO HORTÍCOLA EN V. DEL CONDADO	
PLANO DE	SITUACIÓN GENERAL
ESCALA	8/E
FECHA	02-08-2014
Fdo.:... <i>Oiga García Álvarez</i>	
PLANO Nº	
01	



UNIVERSIDAD DE LEÓN
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS



MÁSTER EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

PROYECTO DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO PARA USO HORTÍCOLA EN V. DEL CONDADO

PLANO DE SITUACIÓN RELATIVA AL CASCO URBANO

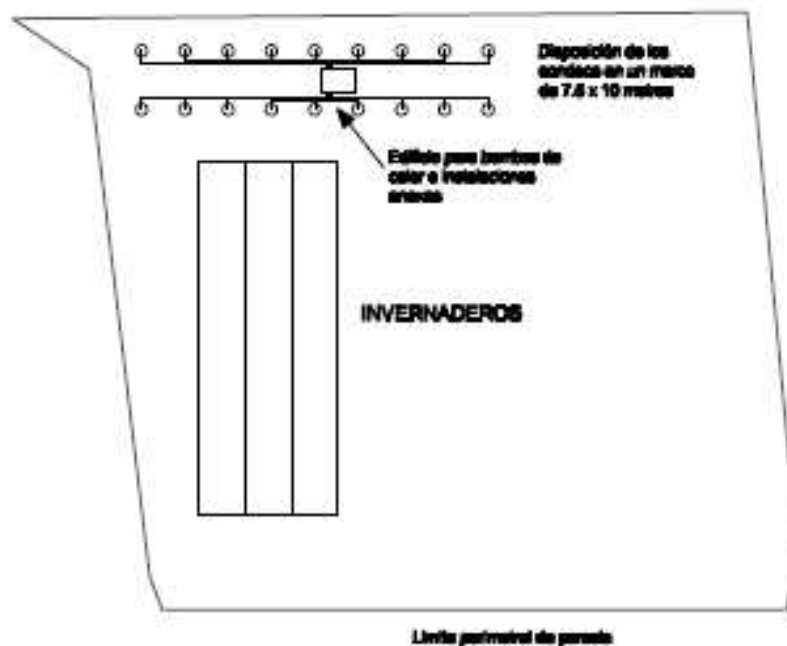
ESCALA 8/E

PLANO Nº

FECHA 02-08-2014

Fdo.: Olga García Álvarez.....

02



UNIVERSIDAD DE LEÓN
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS



MÁSTER EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

PROYECTO DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO PARA USO HORTÍCOLA EN V. DEL CONDADO

PLANO DE UBICACIÓN DE LOS SONDEOS GEOTÉRMICOS EN LA PARCELA

ESCALA 1:1.000

PLANO Nº

FECHA 02-08-2014

Fdo.: Oiga Garcia Álvarez.....

03

1 Introducción y generalidades.

1.1 Objeto.

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas tiene por objeto determinar los requisitos e instrucciones a los que se ajustará el Proyecto de aprovechamiento geotérmico para uso hortícola en Vegas del Condado, León, cuyas características técnicas se especificarán, junto con el presente pliego, en la memoria, planos y presupuesto, así como las disposiciones generales que regirán en las mismas.

1.2 Compatibilidad de documentos.

En caso de contradicciones e incompatibilidad entre los Documentos del presente Proyecto, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los planos tienen prelación sobre los demás documentos del proyecto en lo que a dimensionamiento se refiere en caso de incompatibilidad de los mismos.
- El pliego de Prescripciones Técnicas, tiene prelación sobre los demás en lo que se refiere a materiales a emplear, ejecución, medición y valoración de las obras.
- El cuadro de precios tiene prelación sobre cualquier otro documento en lo que se refiere a precios de la unidad de obra.
- En cualquier caso, los documentos del Proyecto tienen preferencia respecto a los Pliegos de Condiciones Generales que se mencionan en este pliego.

- Lo mencionado en el Pliego de prescripciones Técnicas Particulares y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser considerado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que la unidad de obra esté perfectamente definida en uno u otro documento, y que aquélla tenga precio en el Presupuesto.

1.3 Dirección Facultativa.

La dirección facultativa será ejercida por el director facultativo de los trabajos, en él recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las operaciones del proyecto en cuestión.

Las funciones del Director facultativo, son las siguientes:

- Garantizar que las obras se ejecuten ajustadas al Proyecto aprobado o modificaciones debidamente autorizadas y exigir al Contratista el cumplimiento de las condiciones contractuales.

- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deja a su elección.

- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra.

- Resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres afectadas por las obras.

1.4 Personal del contratista.

El adjudicatario está obligado a nombrar un Ingeniero de Minas como director facultativo de los trabajos, quedando este como representante de la contrata ante la Administración a los efectos de la función asignada.

1.5 Descripción de las obras.

Las obras objeto del presente proyecto y sujetas a las condiciones de este pliego son las que de forma sucinta se definen en el título del mismo, se describen en la memoria y se concretan y se detallan en el presupuesto.

El Contratista deberá confrontar, inmediatamente después de recibido, los planos que le hayan sido facilitados y deberá informar prontamente a la Dirección de la empresa contratante de cualquier contradicción.

El orden de ejecución de los trabajos deberá ser aprobado por el Director Facultativo y será compatible con los plazos programados.

Antes de iniciarse cualquier trabajo deberá el contratista ponerlo en conocimiento de la empresa contratante y recabar su autorización.

1.6 Permisos, licencias e indemnizaciones.

La empresa deberá obtener todos los permisos y licencias necesarios para la ejecución de las obras.

La tramitación será ajena al Director facultativo, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará orden de comenzar la ejecución del proyecto.

1.7 Documento de Seguridad y Salud.

Junto al proyecto y, por tanto antes del comienzo de las obras, se presenta un documento de seguridad en el que se contemplen los riesgos derivados en la actividad a realizar y las actividades preventivas pertinentes.

Todo el personal está obligado a cumplir todas las condiciones que se indican en la normativa vigente en materia de seguridad y salud y a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personal necesarios.

1.8 Ejecución de las Obras.

1.8.1 Condiciones generales.

Todas las obras comprendidas en este Proyecto se ejecutarán de acuerdo con los planos y con las indicaciones del Director facultativo, quien resolverá las cuestiones que puedan plantearse en la interpretación de aquellos y en las condiciones y detalles de la ejecución.

Todas las unidades de obra que se detallan en los correspondientes documentos serán ejecutadas de acuerdo con las buenas normas de operación, manejo e implantación.

Independientemente de las condiciones particulares o específicas, que se exijan en los artículos siguientes a los equipos necesarios para ejecutar las obras, todos aquellos equipos que se empleen en la ejecución de las distintas unidades de obra deberán cumplir, en cada caso, las condiciones generales siguientes:

- Deberán estar disponibles con suficiente antelación al comienzo del trabajo correspondiente para que puedan ser examinados y aprobados por el Ingeniero Director de la obra en todos sus aspectos, incluso en el de su potencia o capacidad que deberá ser adecuada al volumen de obra a efectuar en el plazo programado.
- Después de aprobado un equipo por el Director Facultativo, debe mantenerse en todo momento en condiciones de trabajo satisfactorias, haciéndose las sustituciones o reparaciones necesarias para ello.
- Si durante la ejecución de las obras se observase que, por cambio de las condiciones de trabajo o por cualquier otro motivo, el tipo o cambios aprobados no son idóneos al fin propuesto, deberán ser sustituidos por otros que lo sean.

1.8.2 Subcontratación de las Obras.

En ningún caso podrá intervenir en la obra ninguna empresa distinta a las contratistas autorizadas sin el previo permiso escrito de la empresa titular y/o Director Facultativo. En caso de que la empresa desee a su vez subcontratar parte de la obra, la empresa subcontratada deberá cumplir los requisitos exigidos por la autoridad minera si se requiere su inscripción en el Registro de Contratas.

1.8.3 Obras accesorias.

Se consideran obras accesorias aquellas que por su naturaleza no puedan ser previstas en todos sus detalles, si no que se realizan a medida que avanza la ejecución de los trabajos.

Las obras accesorias se realizarán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando su importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Director Facultativo.

1.8.4 Señalización de las obras.

La señalización y vallado perimetral en caso necesario de las obras durante su ejecución se hará de acuerdo con R.G.N.B.S.M.

El precio de las mismas comprende su instalación en un emplazamiento, su conservación mientras deba de permanecer en él y su retirada y acopio después de cumplida su misión.

Todos los materiales y elementos que se empleen en la señalización de las obras deberán merecer la aprobación previa de la Dirección de Obra.

1.9 Inspección y ensayos.

El personal designado por el Director Facultativo (encargado o vigilante) comprobará periódicamente la marcha de los trabajos y todo aquello que se refiere a la ejecución de las obras.

El Director Facultativo fijará la clase y número de los ensayos a realizar para controlar la calidad de los materiales utilizados y la ejecución de las distintas unidades de obra.

El Contratista suministrará, a su costa, todos los materiales que hayan de ser ensayados y dará las facilidades necesarias para ello.

El Director Facultativo o sus representantes tendrán acceso a cualquier parte del proceso de ejecución de las obras, incluso en las que se realicen fuera del área propia de construcción así como a las instalaciones auxiliares de cualquier tipo, y el Contratista dará toda clase de facilidades para la inspección de las mismas.

El control de calidad de las obras se llevará a cabo mediante ensayos de laboratorio o “in situ”. Además, el Director Facultativo de las obras podrá proponer los ensayos convenientes para cada unidad de obra.

Los ensayos de laboratorio, en principio, serán realizados en un Laboratorio acreditado, u otros de carácter oficial.

1.10 Dosificaciones.

Todas las dosificaciones y fórmulas de trabajo a emplear en obra deberán ser aprobadas antes de su empleo por el Director Facultativo, quien podrá modificarlos a la vista de los ensayos y pruebas que se realicen en obra y de la experiencia obtenida durante la ejecución de los trabajos.

1.11 Conservación de las obras.

Se define como conservación de las obras durante su ejecución, el conjunto de los trabajos necesarios para mantener las obras en perfectas condiciones de limpieza y acabado, hasta el momento de procederse a su recepción.

1.12 Medidas de seguridad.

Además de la normativa vigente, la Dirección Facultativa y las personas por él designadas velarán por el cumplimiento de la normativa en materia de prevención de riesgos laborales en todo aquello que la Dirección Facultativa dicte para garantizar esta seguridad, bien entendido que en ningún caso dicho cumplimiento eximirá al Contratista de responsabilidad.

2 Materiales.

Todos los materiales que se empleen en las obras, figuren o no en este pliego, serán de primera calidad, a juicio de la Dirección Facultativa y reunirán todas las condiciones exigibles en la buena práctica de la construcción.

El empleo de aditivos o de productos auxiliares no previstos explícitamente en el proyecto, deberán ser expresamente autorizados por el Ingeniero Director de la obra, quien fijará, en cada caso las especificaciones a tener en cuenta, si éstas no estuvieran en el presente pliego.

Los materiales que sin ser especificados en el Presente Pliego hayan de ser empleados en las obras, serán de probada calidad.

El Director Facultativo podrá rechazar aquellos materiales que no reúnan, a su juicio, la calidad y condiciones necesarias al fin que han de ser destinados. Si por circunstancias imprevisibles hubiera de sustituirse algún material deberá obtenerse autorización de la Dirección Facultativa.

Los materiales se almacenarán de modo que se asegure su correcta conservación y en forma que se facilite su inspección en caso necesario.

La tubería será de buena calidad con los diámetros y espesores señalados en la Memoria. Los tubos soldados no tendrán saliente ni rebarba en su cara interior que puedan dificultar los trabajos y la entrada de la bomba.

Todos los materiales accesorios como gravas, cemento, etc, y los que no se especifiquen en este Pliego y que hayan de ser empleados, serán asimismo de calidad acreditada.

3 Ejecución de las obras.

3.1 Condiciones generales.

Todas las obras comprendidas en este Proyecto se ejecutarán de acuerdo con lo previsto en el apartado 1.5.-*Descripción de las obras.*

3.2 Responsabilidades especiales del contratista.

Durante la ejecución de las obras proyectadas y de los trabajos complementarios necesarios para la realización de las mismas, el Contratista será responsable de todos los daños y perjuicios, directos o indirectos, que se puedan ocasionar a cualquier persona, propiedad o servicio público o privado, como consecuencia de los actos, omisiones o negligencias del personal a su cargo, o de una deficiente organización de los trabajos. En especial será responsable de los perjuicios ocasionados a terceros como consecuencia de accidentes de tráfico, debidos a una señalización de las obras insuficiente o defectuosa e imputable a él.

De acuerdo con el párrafo anterior, el Contratista deberá proceder de manera inmediata a indemnizar y reparar de forma aceptable todos los daños y perjuicios imputables a él ocasionados a personas, servicios o propiedades públicas o privadas.

Los permisos y licencias necesarios para la ejecución de las obras deberán ser obtenidas por el Contratista.

El Contratista observará además, cuantas indicaciones le sean dictadas por el personal facultativo de la Administración, encaminadas a garantizar la seguridad de los obreros, sin que por ello se le considere relevado de la responsabilidad que, como patrono, pueda

contraer, y acatará todas las disposiciones que dicte dicho personal con objeto de asegurar la buena marcha de los trabajos.

Serán de cuenta del Contratista todos los gastos de replanteo, dirección y vigilancia de las obras, liquidación, tasas y exacciones fiscales, los de orden fiscal y tributario, los derivados de la reglamentación laboral, accidentes de trabajo, etc, y cuantos puedan derivarse hasta el final de las obras por disposiciones oficiales con fuerza de obligar.

3.3 Verificación de las obras.

El eje del sondeo será vertical en toda su profundidad y su anchura suficiente para que la tubería se pueda colocar dentro de él.

Los límites de desviación están fijados en la Memoria. Para desviaciones superiores a los límites, se corregirá el sondeo mediante la colocación de un tapón de cemento y la perforación por desviación desde esa cota hecha dentro de los límites fijados.

3.4 Protección de la calidad del agua.

El contratista tomará las medidas de precaución que sean necesarias o que puedan requerirse permanentemente para evitar que agua contaminada o con características químicas no deseadas entren en el acuífero.

Se tomarán medidas durante el periodo de construcción para evitar que entre agua contaminada, combustibles, lubricantes u otros contaminantes.

En el caso de que se contamine el pozo o de que agua con características físicas o químicas no deseadas entren en el pozo por descuido del Contratista, éste, a su cargo, realizará las obras o suministrará las entubaciones, sellos, agentes esterilizantes u otros materiales que sean necesarios para eliminar la contaminación o sellar la entrada de agua no deseada.

El contratista extremará sus cuidados en la realización de las obras para evitar el derrumbamiento o soterramiento de los estratos suprayacentes al que ha de proporcionar el agua.

Una vez construido el pozo, se limpiará completamente de toda materia extraña y si por cualquier causa el pozo hubiera sido contaminado, se procederá a desinfectarlo con una solución de cloro, que tendrá una concentración al menos de 50 partes por millón de cloro en todas las zonas del sondeo.

3.5 Replanteo.

El autor del proyecto fijará la situación exacta del sondeo mediante una estaca en presencia del Contratista.

3.6 Testigos, muestras y registros.

El Contratista estará obligado a obtener una muestra de los terrenos atravesados y cada metro de perforación y en las zonas acuíferas cada 50 centímetros. Estas muestras serán manejadas con cuidado para asegurar su adecuada identificación, almacenándolas en el orden en que han sido sacadas.

El Contratista mantendrá un registro exacto del orden en que se instale el pozo cada tramo de tubo, identificando cada uno por su tamaño, número y longitud. El Contratista hará un parte diario que describa la naturaleza del material encontrado, la obra realizada cada día y todos los datos e incidencias que considere destacar.

Al final de la perforación se realizará un croquis del sondeo en el que se indique los terrenos atravesados, acuíferos cortados, tuberías, tramos rasurados, nivel estático, etc.

3.7 Penalizaciones.

Siempre que las causas objeto de penalización dependan de la voluntad, técnica, arte o materiales utilizados por el Contratista, podrán aplicarse las penalizaciones que la Dirección de Obra crea pertinentes. Estas causas son:

- Desviación del pozo (superior a los límites fijados).
- Recuperación de testigos (porcentaje inferior al fijado).
- Alineación de la tubería en el tramo correspondiente a la cámara de bombeo (impide el descenso del elemento controlador de la tolerancia prescrita).
- Estanqueidad de la tubería (por debajo de las normas).

- La tubería no alcanza la cota fijada.
- Estanqueidad de una cementación (por debajo de las normas).
- Porcentaje de arena (superior al límite admitido).
- Retrasos en el plazo de comienzo y ejecución de las obras.

3.8 Restablecimiento de las características del entorno.

Una vez terminadas las obras, se procederá a realizar su limpieza final; por ello, todas las instalaciones deberán ser removidas, los lugares de su emplazamiento restaurados a su forma original y limpieza de materiales y productos sobrantes de la perforación dejando el lugar en su estado primitivo.

Todo ello se efectuará de forma que las zonas afectadas queden completamente limpias y en condiciones estéticas acordes en el paisaje circundante. Los gastos originados por la limpieza y retirada de instalaciones están incluidos en el presupuesto.

3.9 Cierre total del pozo o su abandono definitivo.

En todo momento, durante el proceso de las obras, el Contratista protegerá el pozo de tal forma, que se impida eficazmente tanto la interferencia de material extraño en el pozo como su entrada en él.

3.10 Indemnización por daños y perjuicios que se originen con motivo de la ejecución de las obras.

El Contratista deberá adoptar en cada momento todas las medidas que estime necesarias para la debida seguridad de las obras, solicitando la aprobación del Director Facultativo. Cuando por motivos de la ejecución de los trabajos o durante el plazo de garantía, a pesar de las precauciones adoptadas en la construcción, se originasen averías o perjuicios en instalaciones, construcciones o edificios públicos o privados, el Contratista abonará el importe de los mismos.

4 Medición y abono de las obras.

4.1 Precios unitarios.

En las normas de medición y abono contenidas en este capítulo, se entenderá siempre que los precios unitarios se refieren a unidad de obra terminada conforme a las indicaciones de los documentos del proyecto que se abona al precio que figura en el presupuesto. Por tanto, quedan comprendidos en ellos todos los gastos necesarios para la adquisición de materiales, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación y toda clase de gastos que haya de realizarse, para dejar la obra completamente terminada y para conservarla hasta la fecha de su recepción definitiva. Quedan también incluidos, los gastos eventuales necesarios para la adopción de medidas encaminadas a evitar accidentes, como señalización etc.

Las excepciones que pudieran darse a esta norma general constarán expresamente en el presupuesto.

La descripción de materiales y mano de obra puede ser solamente enunciativa y dirigida simplemente a la mejor comprensión de las características del trabajo a realizar. En consecuencia, los materiales no reseñados y las operaciones no descritas que sean manifiestamente necesarios para ejecutar una unidad de obra se consideran incluidos en los precios de abono.

4.2 Medición y abono de obras no especificadas.

Si los trabajos se efectúan por contrata se abonará por el número de unidades realmente realizadas, ateniéndose para su valoración, en todo caso a los precios contenidos en el presupuesto del proyecto de referencia.

En el caso de ser necesaria la introducción de algún precio que no figure en este proyecto o condiciones que no se hayan previsto en este Pliego, se justificarán con arreglo a un precio fijado contradictoriamente como se determina en el artículo correspondiente de este Pliego.

4.3 Precios contradictorios.

Si fuera necesario establecer alguna modificación que obligue a emplear una nueva unidad de obra no prevista en los cuadros de Precios, se determinará contradictoriamente y teniendo en cuenta los precios de los materiales, precios auxiliares y Cuadro de Precios del Proyecto de referencia.

La fijación del precio, se hará antes de que se ejecute la nueva unidad. El precio será fijado por la Propiedad, a la vista de la propuesta del Director Facultativo.

4.4 Medición y abono.

La medición y abono se hará por unidades de obra. Todas las medidas se harán en el sistema métrico decimal.

Las obras se abonarán por unidades de volumen, superficie, longitud o peso según se detalla en el Presupuesto del proyecto.

Para valorar las unidades de obra, se aplicará al total de cada una de aquéllas el precio unitario con que figura en el Presupuesto, aumentándose el resultado con el tanto por ciento de gastos generales de estructura, añadiendo sobre el total el 21% de IVA.

En el precio unitario se consideran incluidos: el valor de los materiales, el coste de los jornales y mano de obra con sus cargas sociales, los transportes, los medios auxiliares y, en general, cuantos trabajos sean necesarios para la ejecución de la unidad de obra de que se trate, aún cuando no consten específicamente consignados en el presupuesto.

4.4.1 Metro lineal del sondeo.

Se entiende por metro lineal del sondeo, el ejecutado con arreglo a las dimensiones que figuran en la Memoria, siempre que no se haya perdido la verticalidad del eje del mismo.

El Contratista no tendrá derecho a pedir indemnización alguna en concepto de desprendimientos, materiales de sostenimiento y transporte de los materiales, pues se consideran que van anexos a precio del metro lineal del sondeo. Asimismo, no percibirá cantidad alguna, si el sondeo no mantiene la verticalidad dentro de los límites que se prescriben en la Memoria.

4.4.2 Metro lineal de tubería colocada.

Se entiende por metro lineal de tubería colocada en el sondeo, el que va de acuerdo con las condiciones que se fijan en la Memoria.

El Contratista no tendrá derecho a pedir indemnización alguna en concepto de soldaduras, transporte de tuberías, pues se considera que el precio del metro lineal incluye también el de todas estas partidas.

4.4.3 Metro lineal del tramo filtrante colocado.

Se entiende por metro lineal de tramo filtrante, al colocado en el Sondeo de la forma y con la calidad que se indica en la Memoria.

4.4.4 Días/máquina y desarrollo.

Se entiende por día/máquina, el coste de la parada de la máquina con motivo de operaciones necesarias en el sondeo, como puede ser, el fraguado de la cementación, el desarrollo o ensayos de bombeo.

4.4.5 Trabajos y materiales varios.

Por este concepto se incluye en los presupuestos partida alzada en concepto de tapa-cierre del sondeo con manguito, válvula y análisis de agua.

El Contratista deberá siempre disponer antes de comenzar los trabajos, de los fondos necesarios para la ejecución de los mismos. Los gastos habidos se justificarán debidamente con arreglos a las unidades de obra ejecutada como se dice en este Pliego.

4.4.6 Obras defectuosas.

Si las obras no reúnen las condiciones mínimas fijadas en la Memoria y en este Pliego, el Contratista está obligado a rehacerlas hasta la total satisfacción del Director de Obra.

5 Plazos de ejecución y garantía.

5.1 Plazo de ejecución.

El Contratista terminará la totalidad de la obra dentro de los 5 días siguientes a la fecha de replanteo de la misma.

5.2 Recepción de la obra.

Dentro de los dos siguientes días a su terminación, se realizará la recepción provisional de la obra.

5.3 Plazo de garantía.

El plazo de garantía será de 12 meses desde la fecha de recepción provisional.

5.4 Recepción definitiva.

Terminado el plazo de garantía y dentro de los 30 días siguientes, se realizará la recepción definitiva de la obra en la forma prevista por las disposiciones vigentes.

6 Medidas generales de protección del medio ambiente durante la ejecución de las obras.

6.1 Definición.

Se proponen una serie de medidas de protección ambiental de carácter general, consistentes en recomendaciones de como ejecutar determinadas actividades de las obras, que no resultan en unidades de obra. En este artículo se determinan los procedimientos de actuación que deberá seguir el contratista a efectos de respetar y asegurar que las medidas protectoras mencionadas se llevan a cabo.

6.2 Descripción de las medidas de protección ambiental.

6.2.1 Daños a la vegetación.

Se dañará lo menos posible a la vegetación circundante. Se respetarán todos aquellos ejemplares, tanto arbóreos como arbustivos, que no estén situados en el área directamente a ocupar por la explotación.

6.2.2 Emisión de sustancias en suspensión.

Los movimientos de tierras y el desplazamiento de maquinaria y vehículos pueden provocar la emisión de polvo en suspensión. Por ello, se recomienda que se administren riegos en aquellas zonas donde exista trasiego de vehículos y maquinaria.

6.2.3 Instalaciones de obra y mantenimiento de maquinaria.

La zona a ocupar por las instalaciones de obra deberá situarse en terrenos que no produzcan eliminación de la cubierta vegetal, ni alteraciones geomorfológicas ni molestias a la población residente o usuarios de la carretera.

La maquinaria a emplear en la ejecución de las obras será revisada periódicamente a fin de evitar pérdidas de lubricantes, combustibles, etc.

Los cambios de aceite y lavados de la maquinaria se efectuarán en zonas específicas lejos de cauces de agua, donde no haya peligro de contaminación por vertido de aceites, hormigón, alquitrán u otros productos a las aguas de los ríos y arroyos o contaminación de aguas subterráneas.

Los aceites y grasas procedentes de la limpieza de los motores de la maquinaria pesada deberán recogerse y ser controlados o recogidos por gestores autorizados. Se evitarán descuidos que produzcan su vertido directo al terreno o a cursos de agua.

7 Programa de trabajo, régimen de obra, abono de la misma y disposiciones generales.

7.1 Programa de trabajo.

Por las características de las obras y de la zona en la que se tienen que realizar las mismas, se ha fijado el plazo de ejecución en 4 días.

7.2 Régimen de obra.

La interpretación del Proyecto y las inspecciones de las obras corresponden al Director de Obra. Todas las diferencias que puedan surgir durante la ejecución de la obra, habrán de adaptarse a la decisión del Director de Obra.

7.3 Validez del pliego.

Las condiciones de este Pliego tendrán fuerza de obligar en tanto no sean anuladas o corregidas en la forma expresada por otras condiciones particulares o económicas que puedan fijarse.

7.4 Clasificación del contratista.

Para la ejecución de las obras del presente Proyecto, dada la especialización de las mismas, parece procedente exigir la experiencia en obras similares a la que se proyecta.

1 PRECIOS UNITARIOS			
Nº	DESIGNACIÓN	Ud. de medida	Precio Unitario
Capítulo I. Perforaciones geotérmicas			
1	Perforación de sondeos para instalación de sondas geotérmicas dobles con camisa de hierro de sustentación para los primeros metros. Diámetro máximo de perforación de 152 mm, según especificaciones intercambio.	m	30,57 €
2	Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20km., considerando ida y vuelta, con camión basculante cargado a máquina, canon de vertedero, y con p.p. de medios auxiliares.	m ³	4,52 €
Capítulo II. Instalaciones de sondas geotérmicas			
3	Sondas geotérmicas 4x32mm, incluida su instalación en los sondeos, pruebas de estanqueidad y piezas de interconexión,	m	18,06 €
4	Cementación de sondeo con material de mortero con propiedades termoconductoras, según especificaciones del proyecto	m ³	14,77 €
Capítulo III. Instalaciones de colectores y tuberías			
5	Tubos en "Y"	Ud.	34,59 €
6	Instalación de salida sonda vertical hasta colector	Ud.	17,77 €
7	Colector con válvulas de equilibrio 9 vías	Ud.	2.450,77 €
8	Arqueta de hormigón prefabricada	Uds.	345, 73 €
9	Tuberías horizontales PE 100 D50 mm, incluido tendido, elementos de conexión e instalación completa.	m.	16,74 €
10	Excavación de zanjas 0,5x0,5 m, a cielo abierto, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras fuera de la excavación, con cargas y transporte a vertedero y con p.p. de medios auxiliares.	m ³	6,92 €
11	Fluido caloportador (monoetilenglicol al 33% y el 66% de agua)	m ³	3.852,15 €

1 PRECIOS UNITARIOS			
Nº	DESIGNACIÓN	Ud. de medida	Precio Unitario
Capítulo IV. Bombas de calor geotérmicas y centrifugas			
12	Unidad agua-agua bomba de calor, geotérmica, para instalación en interior, alimentación trifásica a 400 V, potencia calorífica nominal 80,63 kW (COP 4,1), potencia sonora 70 dBA, dimensiones 1201x883x1492 mm, peso 406 kg, para gas R-410A, con carrocería y paneles de chapa de acero galvanizado, compresores herméticos de tipo scroll, soportes antivibratorios, intercambiadores de placas soldadas de acero inoxidable AISI 316 con aislamiento térmico, válvula de expansión termostática, elementos de seguridad de alta y baja presión del refrigerante, válvulas de seguridad en el circuito frigorífico, sondas de temperatura, transductor de presión, controlador de caudal de agua, cuadro eléctrico y módulo electrónico de control.	Ud.	20.261 €
13	Costes de instalación y medios auxiliares	Ud.	647,68 €

2 MEDICIONES			
Nº	DESIGNACIÓN	Ud. de medida	Unidades
Capítulo I. Perforaciones geotérmicas			
1	Perforación de sondeos para instalación de sondas geotérmicas dobles con camisa de hierro de sustentación para los primeros metros. Diámetro máximo de perforación de 152 mm, según especificaciones intercambio.	m	1.800
2	Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20km., considerando ida y vuelta, con camión basculante cargado a máquina, canon de vertedero, y con p.p. de medios auxiliares.	m ³	37.4
Capítulo II. Instalaciones de sondas geotérmicas			
3	Sondas geotérmicas 4x32mm, incluida su instalación en los sondeos, pruebas de estanqueidad y piezas de interconexión,	m	1.800
4	Cementación de sondeo con material de mortero con propiedades termoconductoras, según especificaciones del proyecto	m ³	27,72
Capítulo III. Instalaciones de colectores y tuberías			
5	Tubos en "Y"	Ud.	18
6	Instalación de salida sonda vertical hasta colector	Ud.	18
7	Colector con válvulas de equilibrio 9 vías	Ud.	2
8	Arqueta de hormigón prefabricada	Uds.	2
9	Tuberías horizontales PE 100 D50 mm, incluido tendido, elementos de conexión e instalación completa.	m.	165
10	Excavación de zanjas 0,5x0,5 m, a cielo abierto, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras fuera de la excavación, con cargas y transporte a vertedero y con p.p. de medios auxiliares.	m ³	41,25
11	Fluido caloportador (monoetilenglicol al 33% y el 66% de agua)	m ³	4,1

2 MEDICIONES			
Nº	DESIGNACIÓN	Ud. de medida	Unidades
Capítulo IV. Bombas de calor geotérmicas y centrifugas			
12	Unidad agua-agua bomba de calor, geotérmica, para instalación en interior, alimentación trifásica a 400 V, potencia calorífica nominal 80,63 kW (COP 4,1), potencia sonora 70 dBA, dimensiones 1201x883x1492 mm, peso 406 kg, para gas R-410A, con carrocería y paneles de chapa de acero galvanizado, compresores herméticos de tipo scroll, soportes antivibratorios, intercambiadores de placas soldadas de acero inoxidable AISI 316 con aislamiento térmico, válvula de expansión termostática, elementos de seguridad de alta y baja presión del refrigerante, válvulas de seguridad en el circuito frigorífico, sondas de temperatura, transductor de presión, controlador de caudal de agua, cuadro eléctrico y módulo electrónico de control.	Ud.	2
13	Costes de instalación y medios auxiliares	Ud.	2

3 PRESUPUESTO		
Nº	DESIGNACIÓN	Total
Capítulo I. Perforaciones geotérmicas		
1	Perforación de sondeos para instalación de sondas geotérmicas dobles con camisa de hierro de sustentación para los primeros metros. Diámetro máximo de perforación de 152 mm, según especificaciones intercambio.	55.026,00 €
2	Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20km., considerando ida y vuelta, con camión basculante cargado a máquina, canon de vertedero, y con p.p. de medios auxiliares.	169,05 €
Total Capítulo I Perforaciones geotérmicas:		55.195,05 €
Capítulo II. Instalaciones de sondas geotérmicas		
3	Sondas geotérmicas 4x32mm, incluida su instalación en los sondeos, pruebas de estanqueidad y piezas de interconexión,	32.508,00 €
4	Cementación de sondeo con material de mortero con propiedades termoconductoras, según especificaciones del proyecto	409,42 €
Total Capítulo II. Instalaciones de sondas geotérmicas:		32.917,42 €
Capítulo III. Instalaciones de colectores y tuberías		
5	Tubos en "Y"	622,62 €
6	Instalación de salida sonda vertical hasta colector	319,86 €
7	Colector con válvulas de equilibrio 9 vías	4.901,54 €
8	Arqueta de hormigón prefabricada	691,46 €
9	Tuberías horizontales PE 100 D50 mm, incluido tendido, elementos de conexión e instalación completa.	2.762,10 €
10	Excavación de zanjas 0,5x0,5 m, a cielo abierto, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras fuera de la excavación, con	285,45 €

3 PRESUPUESTO		
Nº	DESIGNACIÓN	Total
	cargas y transporte a vertedero y con p.p. de medios auxiliares.	
11	Fluido caloportador (monoetilenglicol al 33% y el 66% de agua)	15.793,82 €
Total Capítulo III. Instalaciones de colectores y tuberías:		25.376,85 €
Capítulo IV. Bombas de calor geotérmicas		
12	Unidad agua-agua bomba de calor, geotérmica, para instalación en interior, alimentación trifásica a 400 V, potencia calorífica nominal 80,63 kW (COP 4,1), potencia sonora 70 dBA, dimensiones 1201x883x1492 mm, peso 406 kg, para gas R-410A, con carrocería y paneles de chapa de acero galvanizado, compresores herméticos de tipo scroll, soportes antivibratorios, intercambiadores de placas soldadas de acero inoxidable AISI 316 con aislamiento térmico, válvula de expansión termostática, elementos de seguridad de alta y baja presión del refrigerante, válvulas de seguridad en el circuito frigorífico, sondas de temperatura, transductor de presión, controlador de caudal de agua, cuadro eléctrico y módulo electrónico de control.	40.522,00 €
13	Costes de instalación y medios auxiliares	1.295,36 €
Total Capítulo IV. Bombas de calor geotérmicas:		41.817,36 €

Resumen del presupuesto

Capítulo I	Perforaciones geotérmicas	55.195,05 €
Capítulo II	Instalación de sondas geotérmicas	32.917,42 €
Capítulo III	Instalación de colectores y tuberías	25.376,85 €
Capítulo IV	Bombas de calor geotérmicas	41.817,36 €
IMPORTE EJECUCIÓN MATERIAL		155.306,68 €
<i>Gastos generales (13 %)</i>		20.189,87 €
<i>Beneficio industrial (6 %)</i>		9.318,40 €
SUMA DE G.G. Y B.I.		29.508,27 €
<i>Total antes de impuestos</i>		184.814,95 €
<i>IVA (21 %)</i>		38.811,14 €
TOTAL PRESUPUESTO		223.626,09 €

El presupuesto de ejecución por contrata ascenderá a un total de **doscientos veinte tres mil seiscientos veinte y seis con nueve céntimos de euro.**

1 Antecedentes

La seguridad en los trabajos de ejecución de sondeos está regulada en el capítulo VI del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (Real Decreto 863/1985, de 2 de abril). El artículo 109 de dicho capítulo fue modificado mediante el Real Decreto 150/1996, de 2 de febrero.

Dicha disposición regula las disposiciones mínimas destinadas a mejorar la protección en materia de seguridad y de salud de los trabajadores en industrias extractivas por sondeos.

En dicha norma se exige que el empresario elabore y mantenga al día un documento sobre seguridad y salud, que abarque los requisitos pertinentes contemplados en la normativa vigente, especialmente:

1. Que los riesgos a los que se exponen los trabajadores en el lugar de trabajo han sido determinados y evaluados.
2. Que se van a tomar las medidas adecuadas para alcanzar los objetivos fijados en la presente disposición.
3. Que la concepción, la utilización y el mantenimiento del lugar de trabajo y de los equipos son seguros.

Dicho documento sobre seguridad y salud deberá estar preparado antes del comienzo del trabajo y deberá ser revisado en caso de que se realicen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en los lugares de trabajo.

Aunque el objeto de este proyecto no sea estrictamente la extracción de recursos minerales mediante sondeos, sí que la perforación de los sondeos para equipos geotérmicos es casi idéntica en cuanto a los riesgos existentes en los trabajos de ejecución.

Por ello se elabora este Documento de Seguridad y Salud para cumplir con la exigencia legal.

En la elaboración del proyecto se han tenido en cuenta las Instrucciones Técnicas Complementarias del capítulo 6º del R.G.N.B.S.M., Trabajos especiales, prospecciones y sondeos, de la Orden de 2 de octubre de 1985, en especial la ITC 06.0.01, Prescripciones generales, la ITC 06.0.06, Aprovechamiento de recursos geotérmicos y la ITC 06.0.07, Seguridad en la prospección y explotación de aguas subterráneas.

Finalmente, los trabajos anexos y complementarios a la perforación de los sondeos se pueden considerar una obra de construcción, por lo que este documento, a la vez, servirá como Estudio Básico de Seguridad y Salud. No sería exigible un Estudio de Seguridad y Salud, ya que en el proyecto de obras redactado y del que este documento forma parte, no se dan ninguno de los supuestos previstos en el apartado 1 del artículo 4 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, del Ministerio de Presidencia, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

Artículo 4 Obligatoriedad del estudio de seguridad y salud o del estudio básico de seguridad y salud en las obras

1. *El promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un estudio de seguridad y salud en los proyectos de obras en que se den alguno de los supuestos siguientes:*

- **a)** *Que el presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto sea igual o superior a 450.759,08 €.*

- **b)** *Que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.*
- **c)** *Que el volumen de mano de obra estimada, entendiendo por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, sea superior a 500.*
- **d)** *Las obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas.*

2 Objeto.

Los objetivos que pretende este Anexo son:

- Garantizar la salud y la integridad física de los trabajadores.
- Evaluar los riesgos que se derivan de las actividades a desarrollar.
- Contribuir a la información, consulta, participación y formación de los trabajadores en materia de prevención.
- Evitar acciones o situaciones peligrosas por imprevisión, insuficiencia o falta de medios.
- Definir las clases de medidas a emplear en función del riesgo.
- Aplicar técnicas de ejecución que reduzcan lo más posible los riesgos.
- Delimitar y esclarecer atribuciones y responsabilidades en materia de seguridad a las personas que intervienen en el proceso de ejecución de la los sondeos.

3 Obligaciones del promotor.

Antes del inicio de los trabajos, designará un coordinador en materia de seguridad y salud, cuando en la ejecución de las obras intervengan más de una empresa y trabajadores autónomos, o diversos trabajadores autónomos.

La designación de coordinadores en materia de seguridad y salud no eximirá al promotor de sus responsabilidades.

El promotor deberá efectuar un aviso de la autoridad laboral competente antes del comienzo de las obras, que se redactará con arreglo a lo dispuesto en el Anexo III del R.D. 1627/1997, de 24 de octubre, debiendo exponerse en la obra de forma visible y actualizándose si fuera necesario.

4 Coordinadores en materia de seguridad y salud.

La designación de los coordinadores en la elaboración del proyecto y en la ejecución de la obra podrá recaer en la misma persona.

El coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, deberá desarrollar las siguientes funciones:

1. Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.
2. Coordinar las actividades de la obra para garantizar que las empresas y personal actuante apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra, y en particular, en las actividades a que se refiere el artículo 10 de R.D. 1627/1997.
3. Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
4. Organizar la coordinación de actividades empresariales previstas en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
5. Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.

6. Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

La dirección Facultativa asumirá estas funciones cuando no fuera necesaria la designación del coordinador.

5 Plan de seguridad y salud en el trabajo.

En aplicación del estudio básico de seguridad y salud, el Contratista, antes del inicio de la obra, elaborará un plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este estudio básico y en función de su propio sistema de ejecución de obra. En dicho plan se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, y que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en este estudio básico.

El plan de seguridad y salud deberá ser aprobado, antes del inicio de la obra, por el coordinador en materia de seguridad y salud. Durante la ejecución de la obra, este podrá ser modificado por el contratista en función del proceso de ejecución de la misma, de la evolución de los trabajos y de las posibles incidencias o modificaciones que puedan surgir a lo largo de la obra, pero siempre con la aprobación expresa del coordinador en materia de seguridad y salud. Cuando no fuera necesaria la designación del coordinador, las funciones que se le atribuyen serán asumidas por la Dirección Facultativa.

Quienes intervengan en la ejecución de la obra, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención y las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de manera razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas; por lo que el plan de seguridad y salud estará en la obra a disposición permanente de los antedichos, así como de la Dirección Facultativa.

6 Obligaciones de contratistas y subcontratista.

El contratista y el subcontratista están obligados a:

1. Aplicar los principios de acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y en particular:

- Mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- Elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de accesos, y la determinación de vías, zonas de desplazamientos y circulación.
- Manipulación de distintos materiales y utilización de medios auxiliares.
- Mantenimiento, control previo a la puesta en servicio y control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios para la ejecución de las obras, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
- Delimitación y acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de materiales, en particular si se trata de materias peligrosas.
- Almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.
- Recogida de materiales peligrosos utilizados.

- Adaptación del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.

- Cooperación entre todos los intervinientes en la obra.

- Interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.

2. Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el plan de seguridad y salud.

3. Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta las obligaciones sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del R.D 1627/1997.

4. Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas de hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud.

5. Atender a las indicaciones y cumplir las instrucciones de coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra

Serán responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el plan de seguridad y salud, y en lo relativo a las obligaciones que le correspondan directamente, o en su caso, a los trabajadores autónomos por, ellos contratados. Además responderán solidariamente a las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el plan.

Las responsabilidades del coordinador, Dirección Facultativa y del promotor no eximirán de sus responsabilidades a los contratistas y subcontratistas.

7 Obligaciones de los trabajadores.

Los trabajadores autónomos están obligados a:

1. Aplicar los principios de la acción preventiva que se recoge en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y en particular:

- Mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- Almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.
- Recogida de materiales peligrosos utilizados.
- Adaptación del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- Cooperación entre todos los intervinientes en la obra.
- Interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.

2. Cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del R.D. 1627/1997.

3. Ajustar su actuación conforme a los deberes sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales,

participando en particular en cualquier medida de actuación coordinada que se hubiera establecido.

4. Cumplir con las obligaciones establecidas para los trabajadores en el artículo 29, apartado 1 y 2 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

5. Utilizar equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el R.D. 1215/1997.

6. Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el R.D. 773/1997.

7. Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y salud.

Los trabajadores autónomos deberán cumplir lo establecido en el plan de seguridad y salud.

8 Libro de incidencias.

En cada centro de trabajo existirán con fines de control y seguimiento del plan de seguridad y salud, un libro de incidencias que constará de hojas duplicado y que será facilitado por el colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el plan de seguridad y salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del coordinador. Tendrán acceso al libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones Públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

Efectuada una anotación en el libro de incidencias, el coordinador estará obligado a remitir en el plazo de 24 horas una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente notificará dichas anotaciones al contratista y a los representantes de los trabajadores.

9 Paralización de los trabajos.

Cuando el coordinador durante la ejecución de las obras, observase el incumplimiento de las medidas de seguridad y salud, advertirá al contratista y dejará constancia de tal incumplimiento en el libro de incidencias, quedando facultado para, en circunstancias de riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores, disponer la paralización de tajos, o en su caso, de la totalidad de la obra.

Dará cuenta de este hecho a los efectos oportunos, a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente notificará al contratista, y en su caso a los subcontratistas y/o autónomos afectados por la paralización a los representantes de los trabajadores.

10 Derechos de los trabajadores.

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada y comprensible de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a seguridad y salud en la obra.

Una copia del plan de seguridad y salud y de sus posibles modificaciones, a los efectos de su conocimiento y seguimiento, será facilitada por el contratista a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

11 Interferencias y servicios afectados por las obras.

Las obras proyectadas no deben interferir en las instalaciones de los servicios públicos (líneas eléctricas, gas, agua, comunicaciones, etc.). Si durante la realización de los trabajos se detectan algunas de las interferencias referidas, se pararán los mismos, acordonándose la zona y comunicándolo a la Compañía Suministradora y al Director de Obra, para adoptar las medidas que correspondan.

RESPECTO A LA LINEAS ELECTRICA, SE ADOPTARÁN LAS SIGUIENTES MEDIDAS PREVENTIVAS:

Se considerarán unas distancias mínimas de seguridad, medidas entre el punto más próximo con tensión y la parte más cercana de la máquina, considerando siempre la situación más desfavorable.

Los criterios preventivos que pueden aplicarse y que están recogidos en muchas publicaciones especializadas, dan como distancias mínimas de seguridad las siguientes:

- * 3 metros para tensiones menores de 66000 V

- * 5 metros para tensiones mayores de 66000 V

La distancia de seguridad mínima es función de la tensión de la línea y del alejamiento de los soportes de ésta. Cuando aumenta la temperatura, los conductores se alargan, disminuyendo la distancia con respecto al suelo. El viento provoca un balanceo de los conductores, cuya amplitud también puede alcanzar varios metros. Por todo ello, se considerará la situación más desfavorable.

a) Puesta en obra de los aparatos de elevación

Los aparatos de elevación y sus cargas, que en el curso de sus movimientos permanecen fuera de la zona peligrosa, pueden ponerse en servicio sin tomar medidas especiales.

No obstante, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- * La desviación con relación a la vertical, por el balanceo de las cargas.

- * La dilatación de los conductores de la línea, por la variación de la temperatura y el consiguiente cambio de la longitud de la catenaria de los cables.

Si los aparatos de elevación o cargas suspendidas pueden penetrar en la zona peligrosa, deben adoptarse algunas de las siguientes medidas de seguridad:

- * Limitar el movimiento de traslación, rotación y de elevación de la maquinaria, por medio de dispositivos de parada mecánicos.

- * Limitar la zona de trabajo por barreras de protección.

b) Bloqueos y barreras de protección

Para las máquinas, tales como grúas, palas, excavadoras, etc, se señalarán las zonas que no deben traspasar y para ello, se interpondrán barreras que impidan todo contacto con las partes en tensión. Estas barreras se fijarán de forma segura y resistirán los esfuerzos mecánicos usuales.

Estas barreras se construirán generalmente por soportes colocados verticalmente y cuyo pie estará sólidamente afincado en el suelo, arriostrados por medio de cables unidos por largueros o tablas. Los largueros o las tablas deben de impedir el acceso a la zona peligrosa. El espacio vertical máximo entre los largueros o las tablas no debe de sobrepasar 1 metro.

c) Paso bajo líneas eléctricas

La altura de paso máximo debe estar delimitada por barreras de protección, indicadoras del gálibo máximo permisible de seguridad. Las barreras de gálibo generalmente están compuestas por dos largueros colocados verticalmente, sólidamente anclados, unidos a la altura de paso máximo admisible por un larguero horizontal.

Deben colocarse barreras de protección en cada lado de la línea aérea. Su alejamiento de la zona peligrosa viene determinado por la configuración de lugares bajo la línea aérea (depressiones de terreno o terraplenes). La altura de paso máximo debe ser señalada por paneles apropiados fijados a la barrera de protección. Las entradas del paso deben de señalarse en los dos lados.

d) Recomendaciones a observar en caso de accidente

Caída de la línea

Se prohibirá el acceso del personal a la zona de peligro, hasta que un especialista compruebe que están sin tensión. No se deben tocar a las personas en contacto con una línea eléctrica en tensión. Se intentará separar a la víctima mediante elementos no conductores, sin tocarla directamente.

Accidente con máquinas

En el caso de contacto de una línea con maquinaria de excavación, transporte, etc. Sobre cubiertas neumáticas, deben observarse las siguientes normas:

1.- El conductor o maquinista:

- Conservará la calma incluso si los neumáticos comienzan a arder.
- Permanecerá en su puesto de mando o en la cabina, debido a que allí está libre de riesgo de electrocución.
- Se intentará retirar la máquina de la línea y situarla fuera de la zona peligrosa.
- Advertirá a las personas que allí se encuentren, de que no deben tocar la máquina.

- No descenderá de la máquina hasta que ésta no se encuentre a una distancia segura. Se desciende antes, el conductor entra en el circuito línea-máquina-suelo y está expuesto a electrocutarse.

2.- El conductor o maquinista:

- No tocar la máquina o la línea caída a tierra.

- Permanecer inmóvil o salir de la zona a pequeños pasos, para asegurar que los valores de la tensión de paso concéntricos al punto en que la máquina o la línea hace tierra, pudieran dar lugar a gradientes de potencial muy peligrosos.

- Advertir a las otras personas que se encuentren fuera de la zona peligrosa, de no acercarse a la máquina.

- Hasta que no se realice la separación entre la línea eléctrica y la máquina y se abandone la zona peligrosa, no se efectuarán los primeros auxilios a la víctima.

12 Medidas o elementos de seguridad.

Para la prevención de riesgos se cuenta con dos tipos de medios, que se agrupan según su utilización y empleo.

En un primer grupo se integran todos aquellos que el trabajador utiliza a tipo personal y que por ello se denominan “medios de protección personal o individual”.

Otro grupo, se conoce como medios de protección colectiva, y son aquellos que defienden de una manera general a todas las personas de la obra o que circunstancialmente tengan presencia en la misma.

Desde un punto de vista práctico, se utilizarán las protecciones colectivas, por ser más eficaces y no causar molestias al usuario y ser preceptivo según los Principios de la acción preventiva del artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Sin embargo no siempre es factible, de aquí que sea necesario el empleo de ambas.

La organización de los trabajos se realizará de tal forma que la seguridad para los trabajadores sea la máxima posible. Las condiciones de trabajo deben ser higiénicas y, en lo posible confortables.

12.1 Riesgos más frecuentes.

Acopio de materiales

- * Caídas de personal al mismo nivel.
- * Caídas de objetos en manipulación.
- * Caídas por objetos desprendidos.
- * Pisadas sobre objetos.
- * Golpes por objetos o herramientas.
- * Sobreesfuerzos.

Descarga de material y equipos mecánicos

- * Caídas de personal a distinto nivel.
 - Del camión al suelo.
 - Entre niveles del terreno.
- * Caídas de personal al mismo nivel.
- * Caídas de objetos en manipulación.
 - Por fallo en grúa.
 - En la manipulación manual.
- * Pisadas sobre objetos.
 - Objetos descargados.
 - Objetos previos.
- * Golpes por objetos o herramientas.
 - Golpes con partes de la grúa.
 - Golpes con la carga suspendida.

- * Atrapamiento por o entre objetos.
 - Atrapamiento entre la carga y el camión, el suelo u otros materiales.
- * Atrapamiento por vuelco de máquinas.
 - Vuelco de la grúa.
- * Sobreesfuerzos.
 - Por posiciones forzadas.
 - Por manejo de cargas excesivas.
- * Atropellos o golpes con vehículos.

Elaboración de mortero y llenado de sondeo

- * Riesgos derivados del uso de medios auxiliares tales como la hormigonera.
- * Caídas de personal al mismo nivel.
- * Los derivados de la inhalación de polvo ambiental.
- * Atrapamientos.
- * Dermatitis por el contacto con el cemento.
- * Partículas en los ojos.
- * Sobreesfuerzos.

Introducción de armadura

- * Caídas de objetos en manipulación.
- * Golpes por objetos o herramientas.
- * Sobreesfuerzos.

- * Contactos eléctricos.
- * Cortes en las manos.
- * Pisadas de objetos punzantes.

Perforación del sondeo

- * Caídas de personal al mismo nivel.
- * Caídas de objetos en manipulación.
- * Derrumbamiento.
- * Golpes por objetos o herramientas.
- * Proyección de fragmentos o partículas.
- * Atrapamiento por o entre objetos.
- * Sobreesfuerzos.
- * Explosiones.
- * Incendios.
- * Exposición a ruido.
- * Contactos eléctricos.

Trabajos con el hierro

- * Cortes y heridas en manos y pies por manejo de redondos de acero.
- * Aplastamiento durante las operaciones de carga y descarga de ferralla.
- * Tropezos y torceduras.
- * Sobreesfuerzos.
- * Caídas de personal al mismo nivel.

- * Riesgos derivados del uso de medios auxiliares como el grupo de soldadura eléctrica.

Transporte, montaje y desmontaje de la maquinaria perforadora

- * Caídas de personal al mismo nivel.
- * Caídas de personal a distinto nivel.
- * Golpes por objetos o herramientas.
- * Caídas de material sobre personas.
- * Atropellos o golpes con vehículos.
- * Atropamientos, cortes, etc.
- * Sobreesfuerzos.

12.2 Medidas preventivas.

Acopio de materiales

- * El material se acopiará en un lugar prefijado con antelación.
- * La ubicación se señalará convenientemente, de cara a la circulación de vehículos en obra.
- * Los elementos a acopiar se dispondrán ordenadamente y por grupos.
- * El material que se pueda desplazar (tubos) se calzará para evitar su movilidad.
- * Se adoptarán las medidas propias de formación e información en materia de manipulación de carga.

Descarga de material y equipos mecánicos

- * Para trabajar en altura, el operario se asegurará con un cinturón de seguridad.
- * Los aparatos elevadores tendrán un sobredimensionamiento sobre la carga a elevar.
- * Se prohíbe guiar las cargas directamente con las manos o el cuerpo.
- * Se prohíbe utilizar los flejes como asideros de carga.
- * Se prohíbe el paso de cargas suspendidas sobre el personal.
- * Se utilizarán eslingas en buen estado.
- * El gancho irá provisto de pestillo de seguridad.

Elaboración de mortero y llenado de sondeo

- * Las hormigoneras tendrán protegidos mediante una carcasa metálica, los órganos de transmisión (correas, corona y engranajes), para evitar los riesgos de atropamiento.
- * Las hormigoneras estarán dotadas de freno de basculamiento del bombo, para evitar los sobreesfuerzos y los riesgos por movimientos descontrolados.
- * La alimentación eléctrica se realizará de forma aérea a través del cuadro auxiliar, en combinación con la tierra y los disyuntores del cuadro general eléctrico, para prevenir los riesgos de contacto con la energía eléctrica.
- * Las carcasas y demás partes metálicas de las hormigoneras estarán conectadas a tierra.
- * La botonera de mandos eléctricos de la hormigonera será de accionamiento estanco.
- * Las operaciones de limpieza se efectuarán previa desconexión de la red eléctrica de la hormigonera, para previsión del riesgo eléctrico.

Introducción de armadura

- * Se situará el compresor lo más lejos posible de los trabajadores.
- * Se formará e informará a los trabajadores en el manejo adecuado de las cargas.
- * Se hará especial énfasis en la manipulación de elementos metálicos con predominio de la longitud sobre la anchura (tubos, redondos de acero), de manera que puedan contactar con tendidos aéreos eléctricos o de comunicaciones.

Perforación del sondeo

- * Antes de efectuar la perforación se inmovilizarán las ruedas de la perforadora.
- * Siempre que se efectúe un taladro, se protegerán los oídos de los trabajadores con equipos de protección individual.
- * Se protegerán los ojos con protectores adecuados, a base de oculares contra impactos.
- * El maquinista es la persona únicamente autorizada para el manejo de la máquina perforadora. Estará debidamente formado e informado.
- * Cuando el equipo esté en marcha, el maquinista no estará autorizado a abandonarlo.
- * La zona de maniobras del equipo de perforación estará despejada de equipos y personas ajenas a la perforación.
- * Diariamente, antes del inicio de la actividad, se establecerá un procedimiento para controlar el estado de las piezas esenciales que tienen que ver con la seguridad de la perforadora.

Trabajos con el hierro

- * Se situará el compresor lo más lejos posible de los trabajadores.
- * Se formará e informará a los trabajadores en el manejo adecuado de las cargas.
- * Se hará especial énfasis en la manipulación de elementos metálicos con predominio de la longitud sobre la anchura (tubos, redondos de acero), de manera que puedan contactar con tendidos aéreos eléctricos o de comunicaciones.

Transporte, montaje y desmontaje de la maquinaria perforadora

- * Para trabajar en altura, el operario se asegurará con un cinturón de seguridad.
- * Los aparatos elevadores tendrán un sobredimensionamiento sobre la carga a elevar.
- * Se prohíbe guiar las cargas directamente con las manos o el cuerpo.
- * Se prohíbe utilizar los flejes como asideros de carga.
- * Se prohíbe el paso de cargas suspendidas sobre el personal.
- * Se utilizarán eslingas en buen estado.
- * El gancho irá provisto de pestillo de seguridad.

12.3 Medios de protección personal colectivos.

En este tipo de protecciones no existe una única alternativa, ya que las soluciones a adoptar pueden ser muy variadas en función de las circunstancias presentes en el trabajo y, que son válidas en tanto cumplan con la normativa y distintos reglamentos vigentes.

- Señalización general.
- Señales de STOP en salida de vehículos.
- Señales de obligatorio uso del casco, cinturón de seguridad, gafas, mascarilla, protectores auditivos, botas y guantes.
- Señales de riesgos eléctrico, caída de objetos, caídas a distinto nivel, maquinaria pesada en movimiento, incendio y explosiones.
- Entrada y salida de vehículos.
- Prohibido el paso a toda persona ajena al centro de trabajo.
- Señal informativa de localización de botiquín y extintor.

Medios de extinción de incendios (extintores), en número adecuado al riesgo y con el agente extintor idóneo para los materiales combustibles presentes. Polvo para fuegos de tipo A y B y CO₂ para los de origen eléctrico.

Vallas de limitación: Se colocarán en todas aquellas zonas en las que exista riesgo de caída de personas o necesidad de limitar el acceso de personal; estas vallas podrán complementarse con cintas u otros elementos reflectantes, así como carteles con leyendas complementarias.

Se realizará un mantenimiento periódico de la instalación, con revisión del estado de las mangueras, toma de tierras, enchufes, etc.

Los dispositivos de protección colectiva deberán reunir los requisitos establecidos en cualquier disposición legal o reglamentaria que les sea de aplicación, se verificarán previamente a su uso, posteriormente de forma periódica y cada vez que sus condiciones de seguridad puedan resultar afectadas por una modificación, período de no utilización o cualquier otra circunstancia, desechándose o sustituyéndose los que no ofrezcan las debidas garantías.

12.4 Medios de protección personal individuales.

Los equipos de protección individual o EPI deberán utilizarse cuando los riesgos no se puedan evitar o no puedan limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, procedimientos de organización del trabajo.

El contratista es el que deberá proporcionar a sus trabajadores los equipos de protección individual adecuados para el desempeño de sus funciones y velar por el uso efectivo de los mismos cuando, por la naturaleza de los trabajos, sean necesarios.

Los requisitos generales de sanidad y seguridad de los EPI son:

- Grados de protección tan elevados como sea posible.
- Clases de protección adecuadas a distintos niveles de riesgos.
- Superficie adecuada en las partes de los EPI en contacto con el cuerpo.
- Adaptación del EPI a la morfología del usuario.
- Ligereza y solidez de fabricación.
- Compatibilidad entre distintos EPI que el usuario vaya a llevar al mismo tiempo.
- Folleto informativo del fabricante sobre el correcto uso y mantenimiento del equipo.

Medios de protección individual aplicables a la obra en cuestión:

- Casco de seguridad no metálico, clase N, aislante para baja tensión, para todos los operarios y visitantes.
- Botas de seguridad para todo el personal que maneje cargas pesadas.
- Guantes de uso general, de cuero y anticorte para manejo de materiales y objetos.
- Monos o buzos de trabajo, teniéndose en cuenta las reposiciones.
- Trajes de agua, especialmente en los trabajos que no pueden suspenderse con meteorología adversa.
- Botas de agua homologadas en las mismas condiciones que los trajes de agua y, en trabajos en suelos enfangados o mojados.
- Gafas contra impactos y antipolvo en todas las operaciones en que pudieran producirse proyecciones de partículas.
- Cinturón de seguridad, del tipo apropiado en cada trabajo.
- Mascarilla antipolvo.
- Filtros para mascarilla.
- Protectores auditivos.

13 Maquinaria. Herramienta.

13. 1 Compresor.

A) PELIGROS MAS FRECUENTES

Durante el transporte interno

- * Vuelco.
- * Atropamiento de personas.
- * Caída por terraplén.
- * Desprendimientos durante el transporte en suspensión.

En servicio

- * Ruido.
- * Rotura de la manguera de presión.
- * Los derivados de la emanación de gases tóxicos por escape del motor.
- * Atropamiento durante operaciones de mantenimiento.

B) MEDIDAS PREVENTIVAS

- * Los compresores tendrán las inspecciones periodicas de aparatos a presión al día.
- * Las carcasas protectoras estarán siempre instaladas en posición de cerradas, en prevención de atropamientos y ruido.

- * Las mangueras estarán siempre en perfectas condiciones de uso, sin grietas ni desgaste excesivo.

13.2 Soldadura oxiacetilénica-oxicorte.

A) PELIGROS MAS FRECUENTES

- * Caídas al mismo nivel.
- * Atropamientos entre objetos.
- * Aplastamientos de manos y/o pies por objetos pesados.
- * Quemaduras.
- * Explosión (retroceso de llama).
- * Incendio.
- * Heridas en los ojos por cuerpos extraños.
- * Pisadas sobre objetos punzantes o materiales.

B) MEDIDAS PREVENTIVAS

- * El suministro y transporte interno de obra de las botellas (o bombonas) de gases licuados, se efectuará según las siguientes condiciones:
 - a) Las válvulas estarán protegidas por la caperuza protectora.
 - b) No se mezclarán botellas de gases distintos.
 - c) Se transportarán en posición vertical y en carros portabotellas de seguridad.
- * No se utilizarán botellas en posición inclinada.

14 Servicios médicos.

14.1 Reconocimientos médicos.

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en la obra, así como los accidentes derivados de trastornos físicos, psíquicos y toxicomanías peligrosas, se prevé que el Contratista realice los reconocimientos médicos a los trabajadores presentes en la obra, previamente a su contratación.

14.2 Centros de asistencia.

Se colocará en lugar visible y cerca del botiquín, una relación con el nombre, dirección y teléfono de los centros asistenciales más próximos, así como los correspondientes a taxis y ambulancias para traslados urgentes en caso de accidente.

15 Prevención de riesgos laborales.

15.1 Formación-Información a los trabajadores.

Todos los trabajadores tendrán conocimiento de los riesgos que conlleva su trabajo, así como de las conductas a observar y del uso de las protecciones colectivas y personales, con independencia de la formación que reciban.

Se aconseja establecer Actas:

- De autorización de uso de máquinas, equipos y medios.
- De recepción de protecciones personales.
- De instrucción y manejo.
- De mantenimiento.

Se establecerán por escrito, las normas a seguir cuando se detecte situación de riesgo, accidente o incidente.

De cualquier incidente o accidente relacionado con la Seguridad y Salud, se dará conocimiento fehaciente al encargado, en un plazo proporcional a la gravedad del hecho.

No obstante, cuando se trate de accidentes graves, muy graves o mortales ocurridos en el centro de trabajo o durante un desplazamiento en jornada de trabajo, o bien cuando aún sin poder calificarse como graves, muy graves o mortales afecten simultáneamente a más de cuatro trabajadores (pertenecan o no en su totalidad a la plantilla de la empresa), con

independencia de presentar el parte de accidente, hay que comunicar a las autoridades laboral y minera de la provincia donde haya ocurrido el accidente los siguientes datos: razón social, domicilio y teléfono de la empresa, nombre del accidentado, dirección completa donde ocurrió el accidente así como una breve descripción del mismo. El plazo para comunicarlo es de 24 horas y puede hacerse por fax u otro medio similar.

15.2 Emergencias.

15.2.1 Definiciones.

EMERGENCIA: Cualquier contingencia que no pueda ser dominada por una situación inmediata de quienes la detectan y puede dar lugar a situaciones críticas, o que para su control sean necesarios medios especiales. Las emergencias principales que pueden darse en este tipo de trabajos son:

- Accidente de trabajo
- Incendio

Los objetivos básicos de cualquier actuación de emergencia son:

- Combatir el siniestro en su fase inicial.
- Organizar la evacuación de personas y bienes.
- Prestar una posible ayuda a las posibles víctimas.
- Comunicar a los servicios de emergencias de la situación, para su intervención.
- Restablecer la normalidad una vez controlado el riesgo.
- El primer paso de actuación ante una emergencia es el AVISO a los equipos externos.

15.2.2 Accidente de trabajo.

Ante un accidente de trabajo (incluidos los de circulación) debemos actuar rápidamente pero manteniendo la calma.

Deberemos efectuar un recuento de víctimas, pensando en la posibilidad de la existencia de víctimas ocultas y no atendiendo en primer lugar al accidentado que nos encontremos o al que más grite, sino siguiendo un orden de prioridades.

Ante cualquier accidente, y hasta la llegada de los equipos de emergencia, se actuará basándose en las siguientes premisas:

PROTEGER y asegurar el lugar de los hechos, con el fin de evitar que se produzcan nuevos accidentes o se agraven los ya ocurridos. Para ello se asegurará o señalizará convenientemente la zona y se controlará o evitará el riesgo de incendio, electrocución, caída, desprendimiento, etc., que pudiera afectar a las víctimas e, incluso, a los auxiliares.

ACCIDENTES DE TRÁFICO: Apagar el encendido de los vehículos implicados, si fuera necesario, y preseñalizar el lugar para alertar al resto de conductores (aproximadamente 100 metros antes en autovías y autopistas y 50 m en el resto).

ALERTAR a los equipos de socorro, autoridades, etc. (ver cuadro teléfonos emergencias), por el medio más rápido posible, indicando:

- Lugar o localización del accidente.
- Tipo de accidente o suceso.
- Número aproximado de heridos.
- Estado o lesiones de los heridos, si se conocen. Circunstancias o peligros que puedan agravar la situación.

Se debe procurar facilitar el número desde el que se llama con el fin de poder establecer un contacto posterior para informar o recabar más datos. Las llamadas anónimas o desde teléfonos sin identificar no inspiran confianza.

SOCORRER al accidentado o enfermo repentino "in situ", prestándole unos primeros cuidados hasta la llegada de personal especializado que complete la asistencia, procurando así no agravar su estado.

Para ello es necesario disponer de un botiquín de primeros auxilios:

- 1 frasco, conteniendo agua oxigenada.
- 1 frasco, conteniendo alcohol de 96º.
- 1 frasco, conteniendo tintura de yodo.
- 1 frasco, conteniendo mercurocromo.
- 1 frasco, conteniendo amoniaco.
- 1 caja, conteniendo gasa estéril.
- 1 caja, conteniendo algodón hidrófilo estéril.
- 1 rollo de esparadrapo.
- 1 bolsa para agua o hielo.
- 1 bolsa conteniendo guantes esterilizados.
- 1 termómetro clínico.
- 1 caja de apósitos autoadhesivos.
- Jeringuillas desechables.

ACCIDENTE POR CAÍDA EN ALTURA: Si se sospecha posible lesión de columna vertebral, intentar no mover, pues se pueden producir lesiones modulares (paraplejia y tetraplejia).

ACCIDENTE DE INTOXICACIÓN: Recordar siempre que los síntomas de intoxicación pueden presentarse después de varias horas, como ocurre con las intoxicaciones por fosgeno o vapores nitrosos.

En caso de ingestión de ácidos, bases u otras sustancias nocivas, debe beberse gran cantidad de agua (hasta 2 litros). **En ningún caso se debe beber leche.**

Si las ropas se impregnan de sustancias peligrosas, deben quitarse lo más pronto posible y lavar las partes del cuerpo afectadas con agua abundante durante 10 a 15 minutos.

Si se producen salpicaduras sobre los ojos, deben lavarse inmediatamente con agua durante 10 a 15 minutos.

Una vez que el accidentado haya recibido los primeros auxilios, se procederá a la comunicación del accidente atendiendo al siguiente esquema:

COMUNICACIONES INTERNAS EN CASO DE ACCIDENTE LABORAL
Accidentes leves
Al Servicio de Prevención de la empresa.
Al responsable jerárquico de la empresa.
Al Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.
Accidentes graves y muy graves
Al Servicio de Prevención de la empresa y a la Autoridad Laboral y Minera en 24 horas.
Al responsable jerárquico de la empresa.
Al Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.
Accidentes mortales
Al Juzgado de guardia o a la policía, para que procedan al levantamiento del cadáver y a las investigaciones judiciales oportunas y a la Autoridad Laboral y Minera en 24 horas.
Al Servicio de Prevención de la empresa.
Al responsable jerárquico de la empresa.
Al Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución

La comunicación de accidente al Coordinador la realizará el Técnico de seguridad de la empresa.

15.2.3 Incendios.

En la actuación de emergencia ante un incendio es parte fundamental la prevención del riesgo de incendio, debido a que es la conducta de las personas en la mayoría de las ocasiones las que provoca éstos.

PREVENCIÓN

- Evitar la acumulación de materiales u objetos que impidan el paso de las personas o el acceso a equipos de emergencias (extintores, botiquines).
- Los almacenamientos de materiales deben ser estables y seguros. Los materiales mal almacenados son peligrosos e ineficaces.
- Los lugares de trabajo deben limpiarse periódicamente mediante métodos no contaminantes.
- Al terminar cualquier operación quedará ordenado el área de trabajo.
- Siempre que sea posible, mantener una zona de seguridad (sin combustibles) alrededor de los aparatos eléctricos.
- No sobrecargar los enchufes.
- Si se detecta cualquier anomalía en las instalaciones eléctricas o de protección contra incendios, hay que comunicarlo al responsable.
- Cuidado con los procesos que originen llamas, chispas, etc. (normalmente por operaciones de mantenimiento y soldadura). Estudiar previamente el momento y lugar en donde estos se vayan a realizar.
- Cuidado con los artículos de fumador. No arrojar colillas ni cerillas al suelo, basura, etc.
- Compruebe la localización del extintor más próximo.
- Los espacios ocultos son peligrosos: no echar a los rincones o detrás de las puertas lo que no queremos que esté a la vista.
- Ante cualquier olor sospechoso o superficie especialmente caliente, avisar al responsable.

- Inspeccionar su lugar de trabajo al finalizar la jornada laboral, desconecte los aparatos eléctricos que no se necesiten mantener conectados.

Actuaciones en caso de incendio.

Mantener la calma y actuar según el procedimiento siguiente:

- Dar la alarma al responsable o encargado y, después, avisar a los servicios de emergencia.
- Tratar de apagar el fuego con los equipos de extinción adecuados.
- Proceder a la evacuación del lugar del incendio.

Extintores portátiles:

- Quitar el precinto de seguridad, y sin accionar todavía el extintor acercarse al fuego hasta una distancia prudencial (aprox 2 m).
- En ese momento es cuando debe accionar la palanca de descarga y dirigir el chorro del agente que arda en la base de las llamas, barriéndolo desde el punto más cercano al más lejano, moviendo la manguera en movimientos de zig-zag rápidos y horizontales.
- Si el fuego es vertical, se realizará la misma operación pero de abajo a arriba.
- En un extintor de CO₂ no agarrar la trompa por donde sale el gas ya que esta parte del extintor queda congelada, pudiendo lesionar la mano del usuario. Se debe agarrar la lanzadera por el lugar más cercano a la cabeza del extintor.
- Tanto el agua a chorro como el agua pulverizada no se pueden usar en fuegos de origen eléctrico, ya que el usuario podría morir electrocutado.

El polvo polivalente es un buen extintor, recomendado también para fuegos de origen eléctrico y de combustibles sólidos, sin embargo puede deteriorar los equipos ya que es un agente muy "sucio".

El CO₂ es muy recomendable para apagar fuegos de origen eléctrico y de combustibles sólidos, sin riesgo para los aparatos eléctricos, pues es un agente “limpio”.

16 Riesgos producidos por agentes atmosféricos

Se preverá ropa de trabajo adecuada para hacer frente a los rigores climatológicos.

Se suspenderán los trabajos cuando los siguientes agentes atmosféricos pongan en peligro la seguridad de los trabajadores:

- Por efecto mecánico del viento
- Por tormentas con aparato eléctrico
- Por efectos del hielo, agua o nieve

17 Riesgo de incendio

- Para la prevención de incendios se dispondrá de extintores portátiles de polvo polivalente en todas las máquinas de combustión interna.
- Los extintores se instalarán en lugares fácilmente accesibles, protegidos de la radiación solar y de las inclemencias del tiempo.
- Estos equipos se revisarán con la periodicidad que establece la legislación vigente.

18 Riesgo de daños a terceros.

- La maquinaria y los camiones, circularán a una velocidad moderada, respetando las señales de tráfico y las normas de circulación, y extremarán las precauciones en aquellas áreas por las que transite personal a pie.
- Se señalizará y balizará tanto el perímetro de la zona de los trabajos como los caminos y las vías limítrofes que puedan verse afectadas por la ejecución de los sondeos.
- Se prohibirá al acceso a toda persona ajena a los trabajos; en su caso con los cerramientos provisionales necesarios.