INSTALACIONES PARA EL APROVECHAMIENTO DE

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Jose Ignacio Marín Millán

Licenciado en C.C. Geológicas

Máster en Ingeniería del Terreno y del Agua.

Universidad de Castilla La Mancha

EII

Area MMT

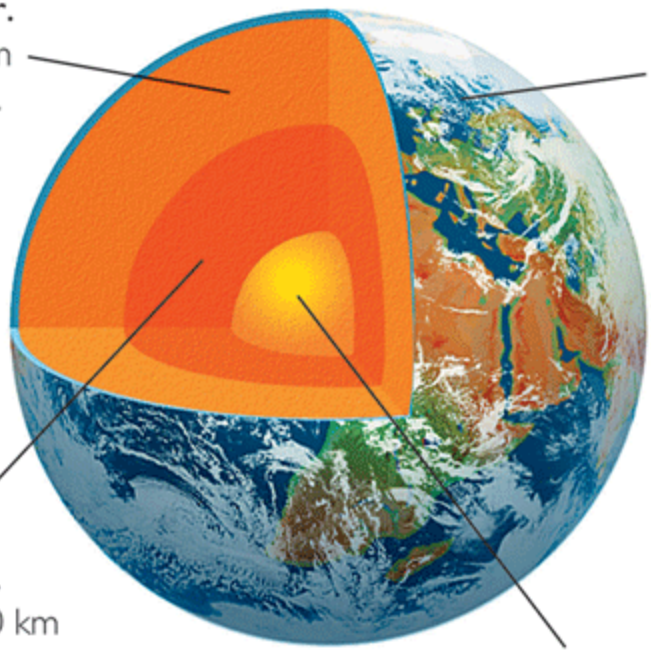
gecesa

ENERGÍA GEOTÉRMICA

1. INTRODUCCIÓN
2. TIPOS DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO
   - PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD
   - USOS TÉRMICOS DIRECTOS
   - USOS TÉRMICOS CON BOMBA DE CALOR
3. PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS
4. INVESTIGACIÓN GEOTÉRMICA EN ESPAÑA
5. YACIMIENTO GEOTÉRMICO DE MADRID NORTE
6. INSTALACIONES DE MUY BAJA TEMPERATURA
7. SISTEMAS DE PERFORACIÓN EN GEOTERMIA SOMERA

CALOR INTERNO DE LA TIERRA

ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA



NÚCLEO:

ESPESOR DE 3500 KM

Tª SUPERIOR A 4000 ºc

MANTO:

ESPESOR DE 2900 KM

Tª DE 4000 A 1000 ºc

CORTEZA:

ESPESOR VARIABLE DE 5 A 20 KM

Tª DE 1000 ºc A 15-20ºC EN SUPERFICIE

!! EL 99% DE LA MASA DE LA TIERRA ESTÁ A Tª>1.000ºC !!!

!! TAN SOLO EL 0,1% DE LA MASA DE LA TIERRA ESTÁ A Tª<100ºC !!!

GRADIENTE GEOTÉRMICO

ESTE CALOR INTERNO, TIENDE A DISIPARSE DESDE EL INTERIOR DE LA TIERRA, HACIA LA SUPERFICIE.

FLUJO DE CALOR TERRESTRE

-**CONDUCCIÓN:**

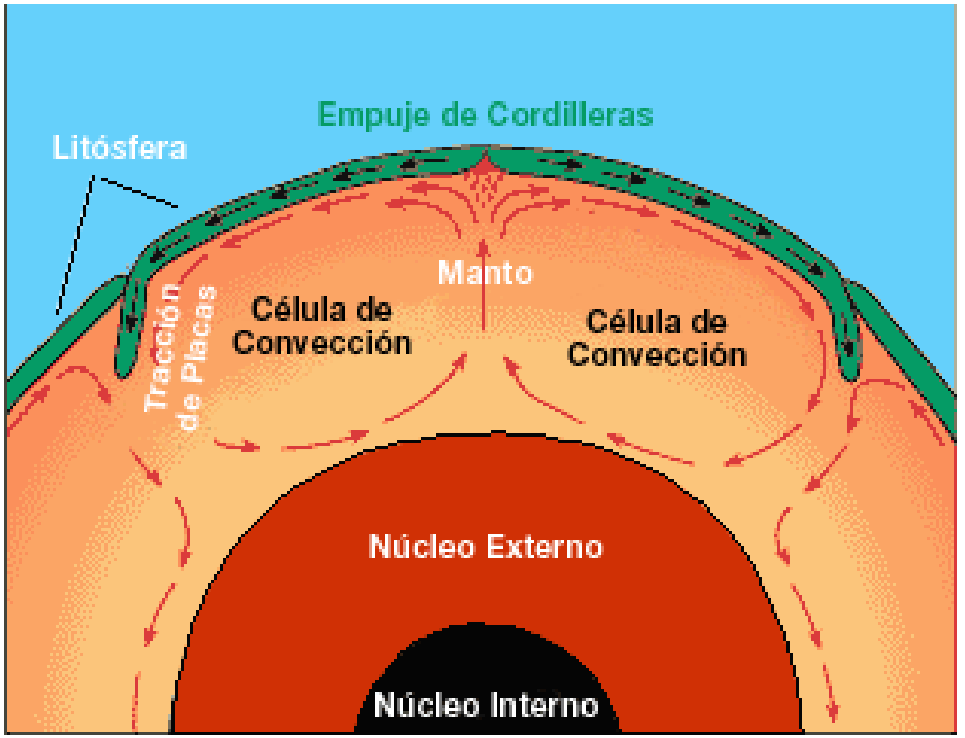
Transmisión de calor por vibración de las partículas que entran en contacto

-**CONVECCIÓN:**

Movimiento convectivo de los fluidos

-**RADIACIÓN:**

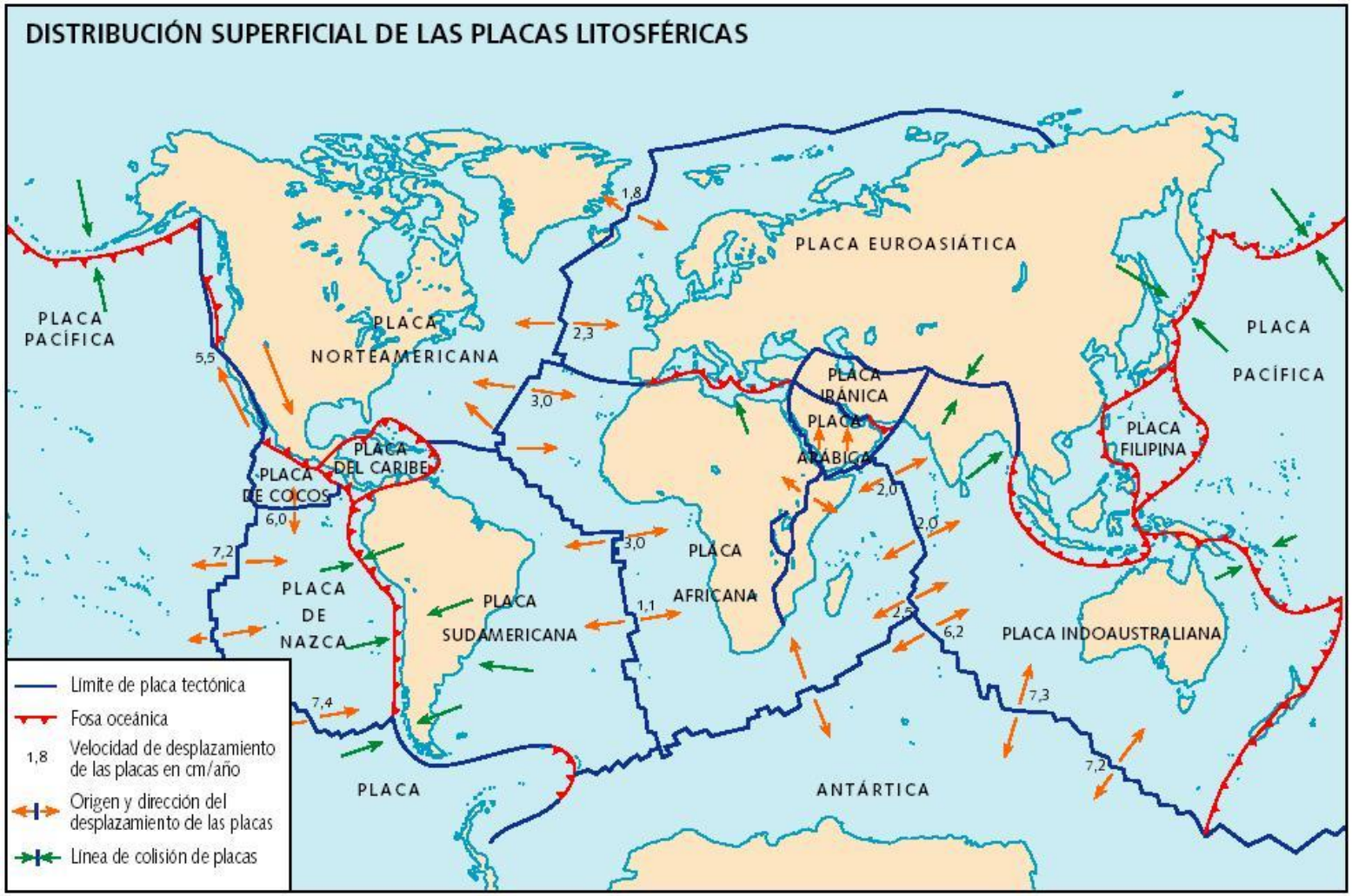
Transmisión de calor a través de ondas electromangnéticas.



GRADIENTE GEOTÉRMICO MEDIO DE 3ºC CADA 100m de prof.

ANOMALÍAS EN EL GRADIENTE GEOTÉRMICO

EXISTEN ZONAS CON GRADIENTES GEOTÉRMICOS ANÓMALOS



MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS

VOLCANES

AGUAS TERMALES

GEISER

FUMAROLAS

VOLCAN DE FANGO

GRADIENTES GEOTÉRMICOS ANÓMALAMENTE ELEVADOS

CONCLUSIONES

-EXISTE UNA GRAN CANTIDAD DE ENERGÍA ALMACENADA EN EL INTERIOR DE LA TIERRA. ESTA ENERGÍA SE TRANSMITE DEL INTERIOR AL EXTERIOR DE LA TIERRA. ($42 \cdot 10^{12}$ J/s)

-EL GRADIENTE GEOTÉRMICO MEDIO ES DE 3ºC CADA 100 m. AUNQUE EXISTEN ZONAS CON GRADIENTE GEOTÉRMICO ANÓMALO, EN LAS QUE SE ALCANZAN ALTAS Tª A ESCASA PROFUNDIDAD.

- ADEMÁS, LA TIERRA RECIBE UNA ENERGÍA TÉRMICA POR IRRADIACIÓN SOLAR DE $2 \cdot 10^{17}$ J/s.

-LA SUPERFICIE TERRESTRE SE ENCUENTRE A UNA Tª CONSTANTE DE UNOS 15ºC….

.. EL CALOR INTERNO DE LA TIERRA SUPONE UNA GRAN FUENTE DE ENERGÍA INAGOTABLE….

DEFINICIONES

ENERGÍA GEOTÉRMICA ES LA ENERGÍA ALMACENADA EN FORMA DE CALOR POR DABAJO DE LA SUPERFICIE SÓLIDA DE LA TIERRA (definición oficial según norma Alemana VDI 4640)

SE DENOMINA **GEOTÉRMIA** AL CONJUNTO DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y TECNOLÓGICAS DESTINADAS A EXTRAER ESTA ENERGÍA, BIEN PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD, O PARA USARLA CON FINES DE CLIMATIZACIÓN O PROCESOS INDUSTRIALES O AGRÍCOLAS.

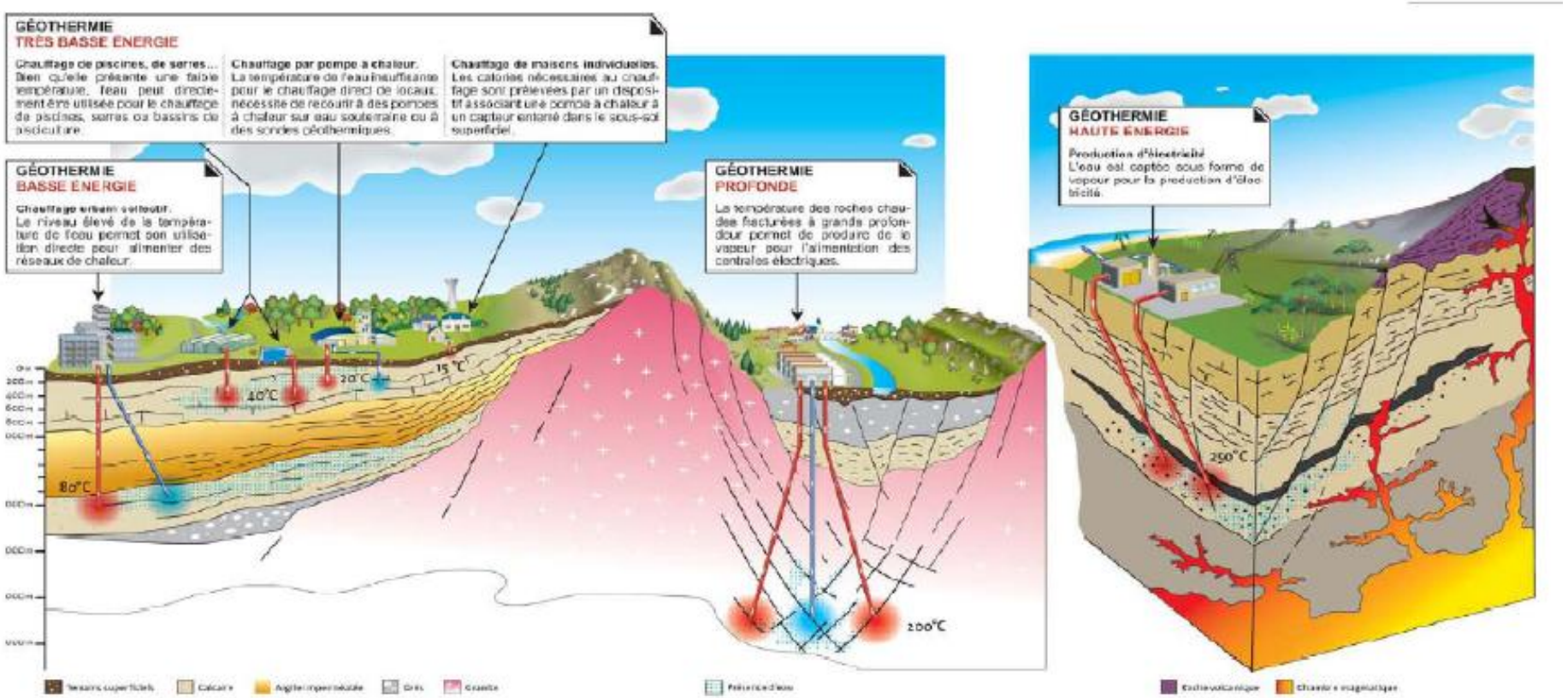
RECURSO GEOTÉRMICO ES UNA CONCENTRACIÓN DE CALOR QUE EXISTE EN LA CORTEZA TERRESTRE EN FORMA Y CANTIDAD TALES QUE SU EXTRACCIÓN ES TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE VIABLE.

TIPOS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

EN FUNCIÓN DE LA Tª DEL FLUIDO QUE SE EXTRAE, SE CLASIFICAN EN..

Tª DEL FLUIDO	PROFUNDIDAD	PRINCIPALES APLICACIONES
ALTA (>150ºC)	GEOTERMIA PROFUNDA	- Proc. Electricidad
MEDIA (100-150ºC)		
BAJA (30-100ºC)		- Aplicaciones térmicas directas
MUY BAJA (<30ºC)	GEOTERMIA SOMERA	- Aplicaciones térmicas mediante bomba de calor.

TIPO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA



Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l´ADEME et du BRGM).

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

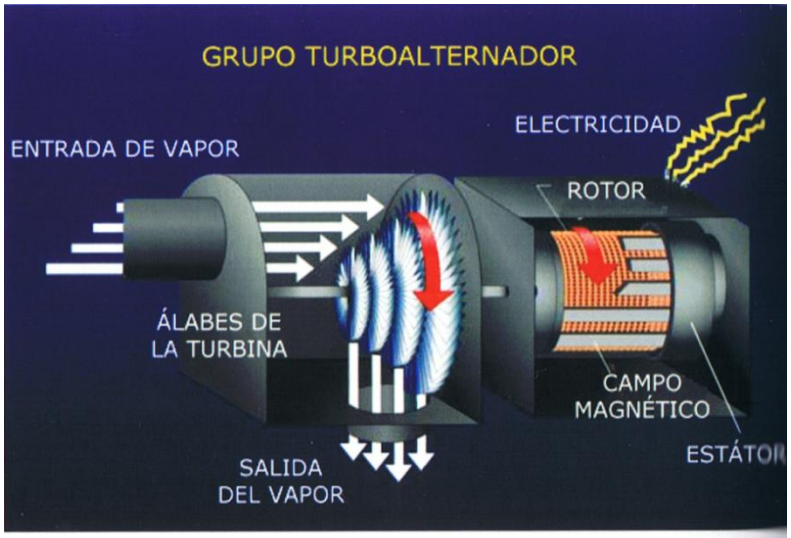


Figura 6.1. Esquema de un turboalternador. La fuerza del vapor obliga a girar al eje de la turbina.
(©2000 Geothermal Education Office).

-Existen 3 tipos de plantas:

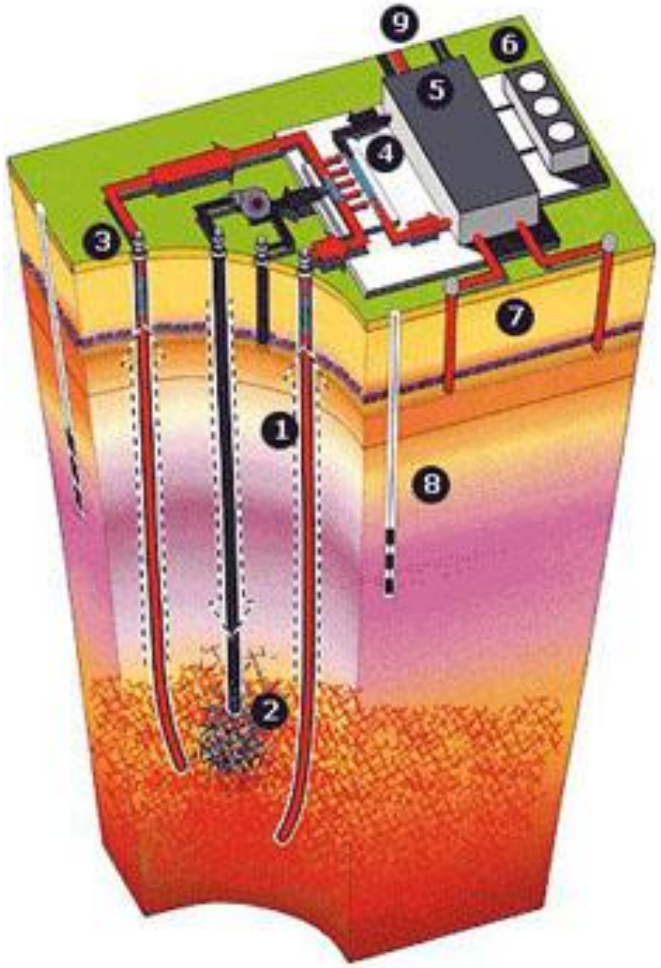
-Plantas de vapor seco. Se extrae vapor seco a más de 150ºC, el cual se utiliza directamente para producción de energía, mediante turbinas.

-Plantas flash. (mezcla de vapor/agua). Se tiene que separar previamente el vapor de la parte acuosa, para posteriormente producir electricidad con el vapor de agua.

-Plantas de ciclo binario. Cuando el fluido geotermal tiene una tª baja, o tiene una elevada salinidad. Se intercambia el calor utilizando un fluido con buen comportamiento termodinámico.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

PARTES DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD



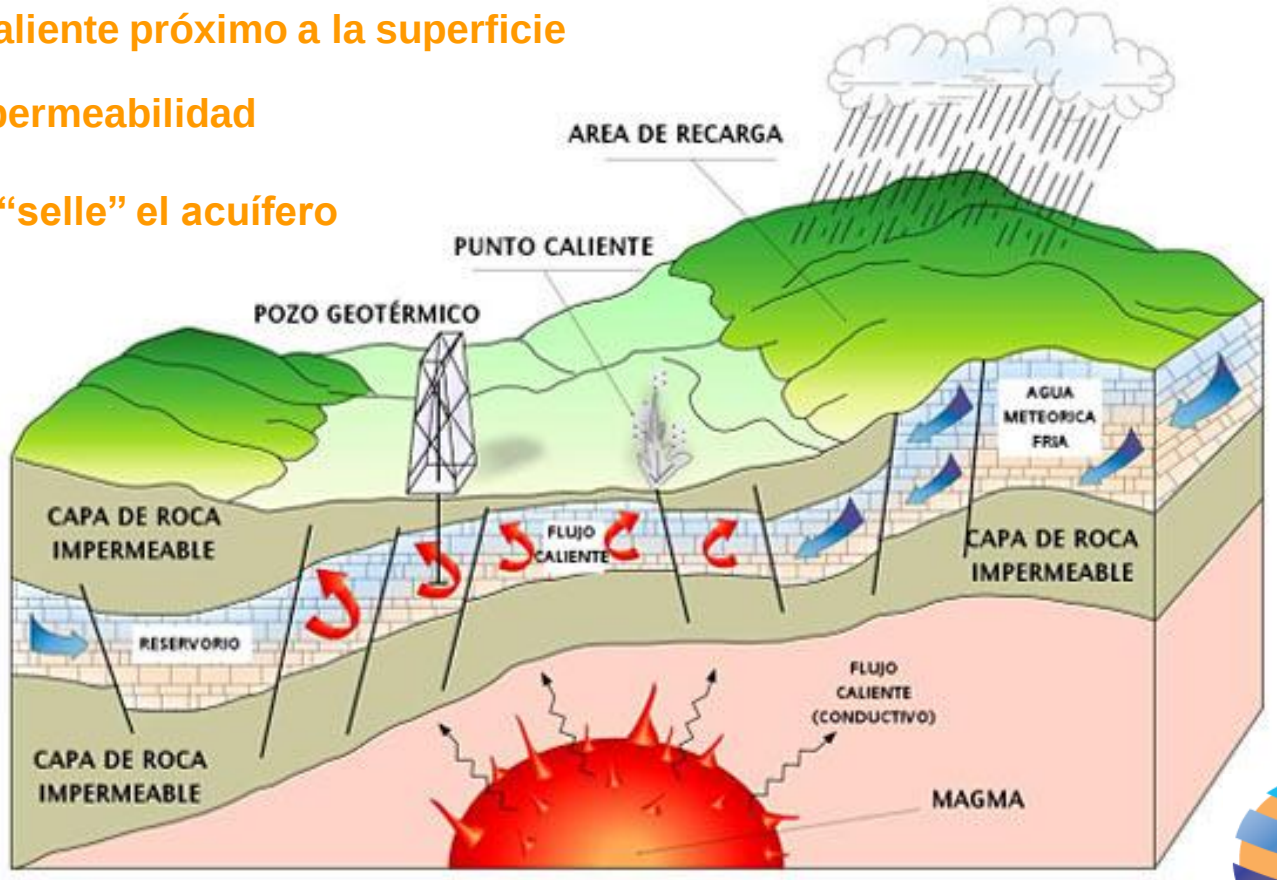
1. Pozos de extracción
2. Pozos de reinyección
3. Vaporducto
4. Intercambiador
5. Turbina + generador
6. Torres de enfriamiento
7. Pozos evacuación exceso tª
8. Pozos de control
9. Red eléctrica

Fuente: Guia de la Energía Geotérmica. Comunidad de Madrid

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

Para que exista un yacimiento geotérmico de alta temperatura, susceptible de ser explotado para producir electricidad, se deben conjugar una serie de circunstancias geológicas:

- Existencia de un foco caliente próximo a la superficie
- Capa acuífera con alta permeabilidad
- Capa impermeable que "selle" el acuífero



Fuente: Dickson, M.H. y Fanelli M. Geothermal Energy

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

-Larderello (Italia):

- En producción desde 1913.

-10% producción mundial

-25% de la demanda eléctrica de la Toscana

-The Geyser:

-En producción desde 1960.

-20 Plantas.

-350 pozos de 3.000 m de prof.

-Vapor de agua a 180ºC

-Produc. Anual de 6.600.000 MWh

Fuente: Manual de Geotermia. IGME, IDAE.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

ROCA CALIENTE SECA (HDR), SISTEMAS GEOTÉRMICOS ESTIMULADOS (EGS)

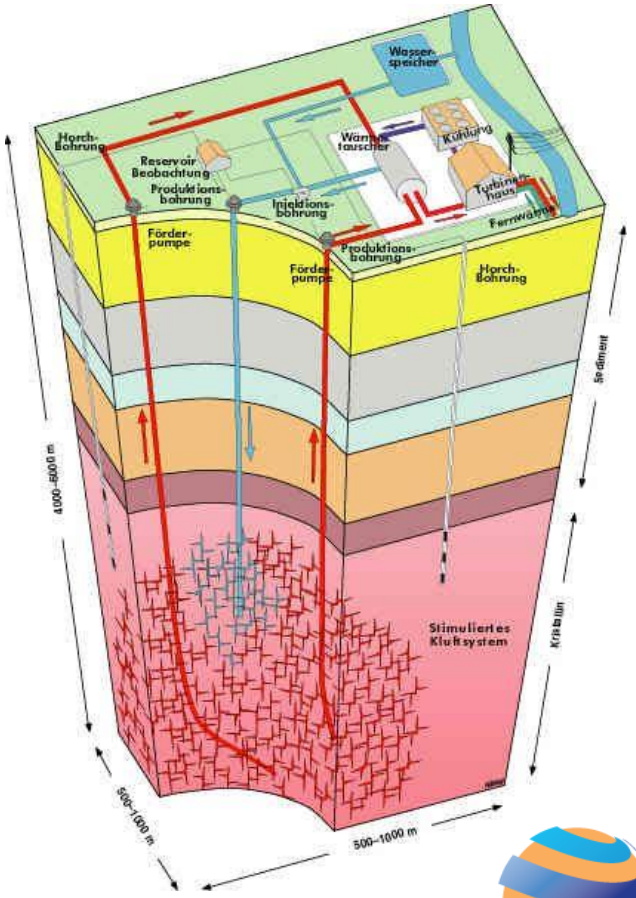
-Se probó por primera vez en 1997. En los Álamos (Nuevo México)

-Está en fase de prueba (plantas piloto), en:

Japón, Alemania, Francia, Inglaterra y EEUU.

SE ESTIMA QUE 1KM³ DE GRANITO A 250ºC PUEDE ABASTECER UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE 10MW DURANTE 20 AÑOS

ESTA TECNOLOGÍA ES CAPAZ DE CREAR NUEVOS RECURSOS GEOTÉRMICOS, Y MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN YACIMIENTOS DE BAJO RENDIMIENTO. !! SE CONSIDERA QUE ESTE ES EL FUTURO DE LA GEOTERMIA !!

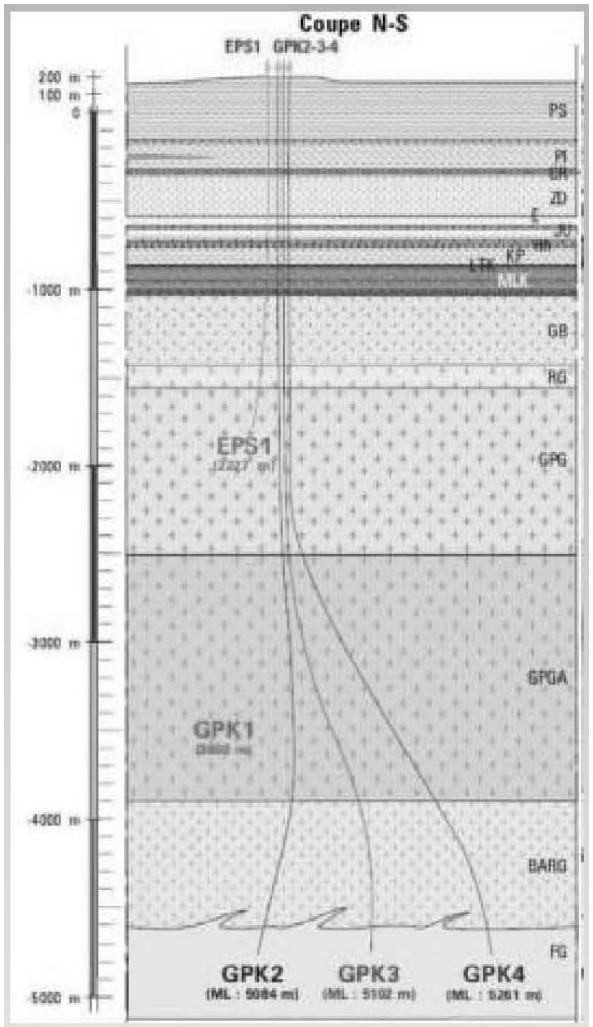


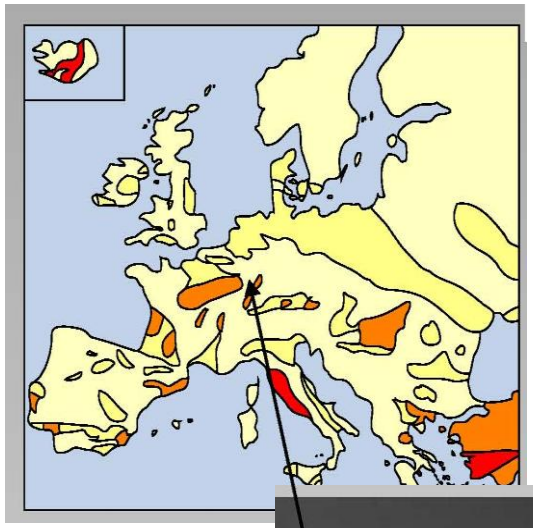
Fuente: Guia de la Energía Geotérmica. Comunidad d

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

PROYECTO SOUTZ-SOUS-FORÊTS

- **Se inyecta agua a 5000 m de prof.**
- **Tª granito 200ºC**
- **Planta de producción eléctrica de ciclo binario.**
- **POT. 6 Mw**
- **Se ampliaran a 25 Mw.**





Fuente: INGEO

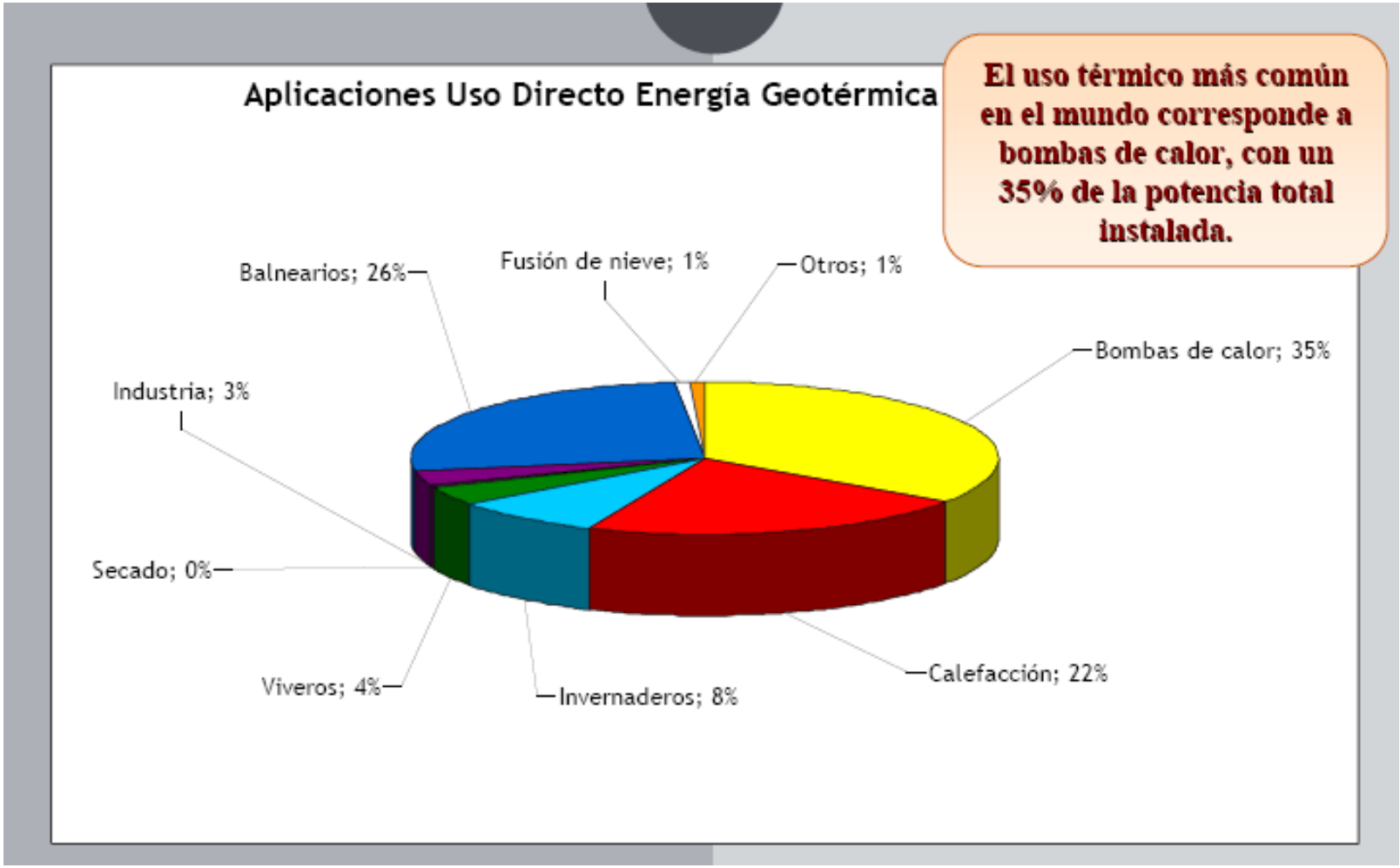
PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

AÑO	POTENCIA INSTALADA (MW)
1980	3.887
1985	4.764
1990	5.832
1995	6.833
2000	7.974
2005	8.932
2007	9.737
2010	11.131

PAIS	POTENCIA INSTALADA (MW) 2007
EEUU	3.000
FILIPINAS	1.991
INDONESIA	1.192
MÉXICO	1.178
ITALIA	910
NUEVA ZELANDA	590
ISLANDIA	580
JAPÓN	535
EL SALVADOR	204

Fuente: Guía Técnica de Sondeos Profundos. Fenercom – Comunidad de Madrid

USOS TÉRMICOS



Fuente: Manual de Geotermia. IGME, IDAE.

USOS TÉRMICOS DIRECTOS

- REDES DE CALOR (DISTRIT HEATTING):

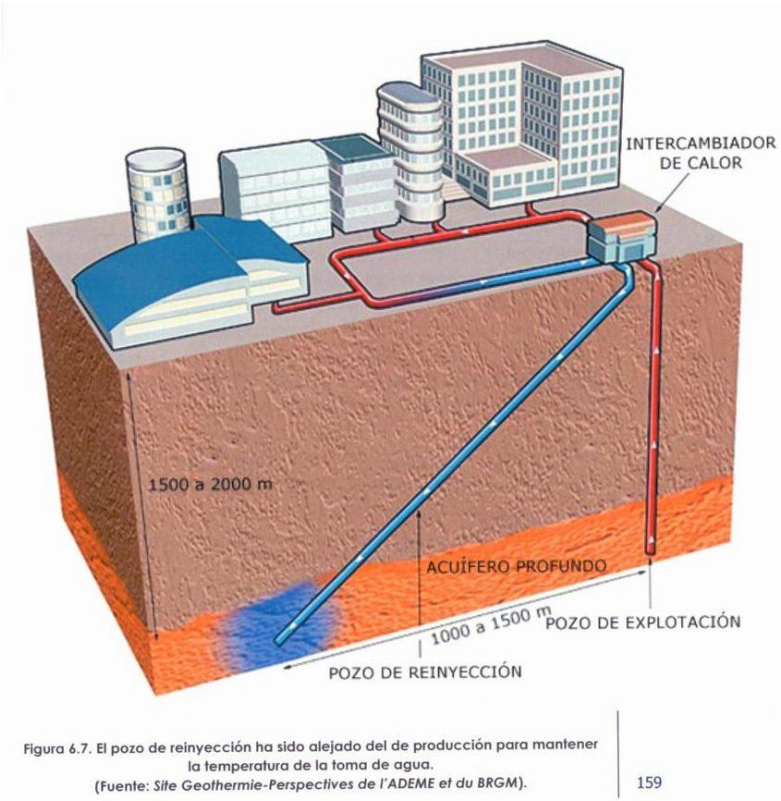
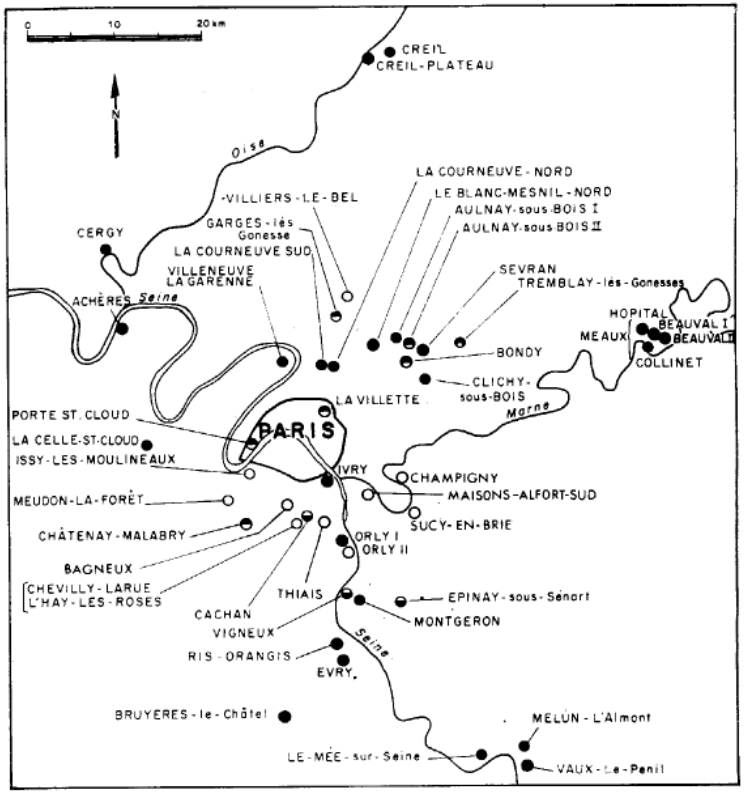


Figura 6.7. El pozo de reinyección ha sido alejado del de producción para mantener la temperatura de la toma de agua.
(Fuente: *Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM*).

159



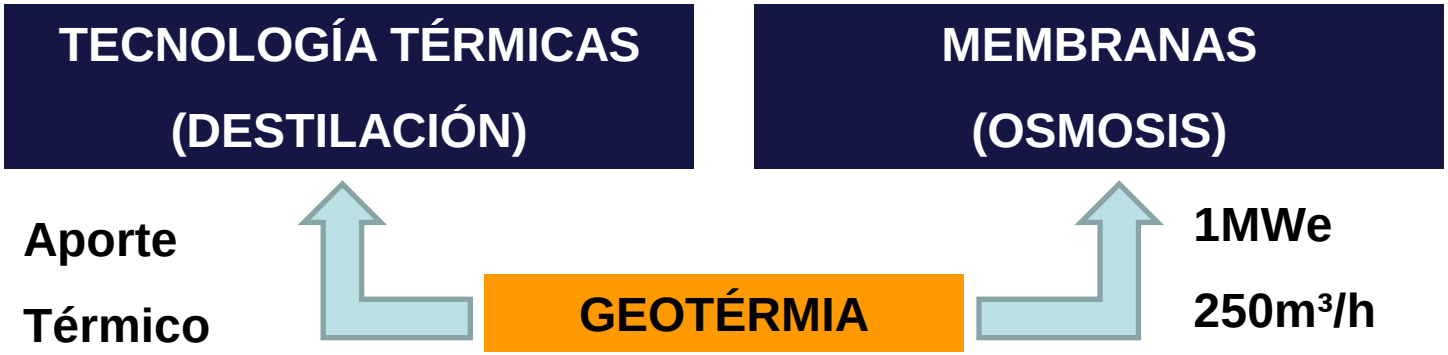
-**37 Proyectos en Francia,** **en la Cuenca de Paris, que suministran calor directo a 500.000 personas, a través de pozos de 1500 – 2000 m de profundidad, extrayendo agua entre 40 y 100 ºC.**

TECNOLOGÍAS NOVEDOSAS

- DESALACIÓN DE AGUA DE MAR:

-Problema de escasez de agua (97,5% agua de mar, 2,5% agua dulce)

-No es competitiva: Coste Instalaciones + Gran consumo energético.



-PLANTA DESALADORA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA

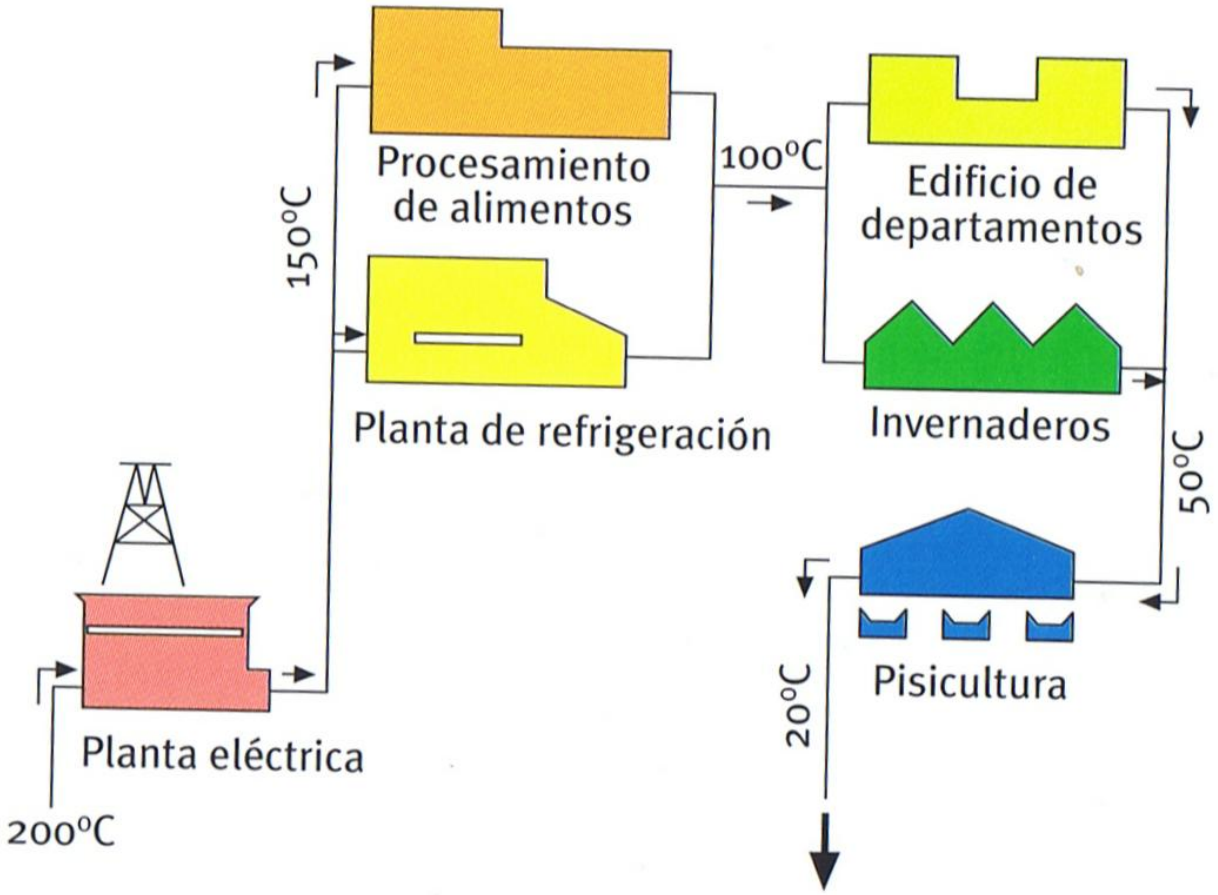
-TUNEZ

-ISLAS CICLADAS. GRECIA

-CALIFORNIA

APROVECHAMIENTOS ENCADENADOS

- APROVECHAMIENTO EN CASCADA:



Fuente: Manual de Geotermia. IGME, IDAE.

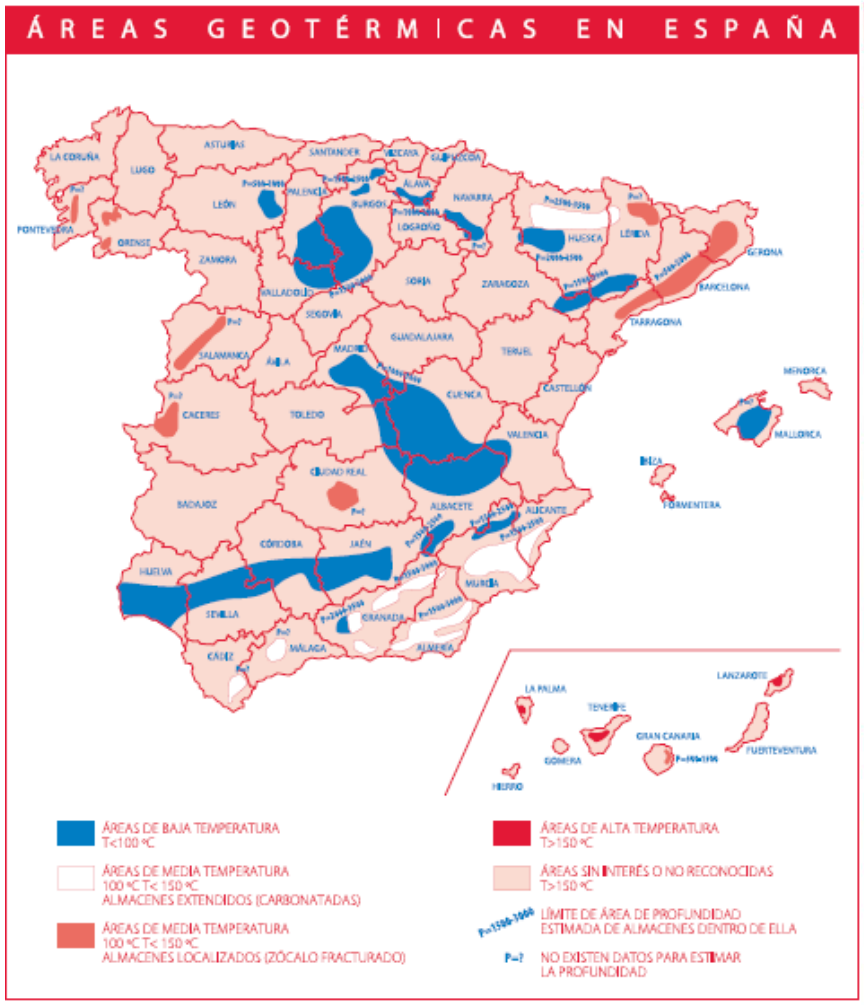
PROSPECIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

POR FASES	POR OBJETIVOS	POR TÉCNICAS
1.Reconocimiento	1.Selección de Regiones	1. Recopilación Bibliográfica 2. Toma de muestras, inventario de puntos, medidas de temperatura. 3. Campañas Geofísicas.
2.Prefactibilidad	2.Selección de Áreas	1.Técnicas de Teledetección 2. Campañas geofísicas de mayor detalle 3. Definición más precisa de la Geología e Hidrogeología. 4. Definición de puntos para la investigación y producción. 5. Primera estimación de rendimiento.
3.Factibilidad	3.Selección de Yacimiento	1. Realización de sondeos exploratorios. 2. Medidas directas de tª, caudales, rendimiento. Etc. 3. Estudio de viabilidad preciso, con análisis de costes/ingresos.
4.Desarrollo y explotación	4.Evaluación	1. Realización de sondeos de explotación. 2. Ajuste del modelo. 3. Construcción de la planta. 4. Puesta en marcha.
	5.Explotación	

INVESTIGACIÓN GEOTÉRMICA EN ESPAÑA

Entre 1974 y 1984, se invirtió en España 2677 MPts, por parte del IGME y la E.N. ADARO. (16 Millones de euros)

Se definieron las zonas de principal interés geotérmico en España



ISLAS CANARIAS

En Gran Canaria se han detectado acuíferos de hasta 70 ºC a unos 1.500 m, así como recursos geotérmicos de alta entalpía y de baja permeabilidad (roca caliente seca) en La Palma y Lanzarote. Existe además un sistema hidrotermal de alta temperatura en investigación en Tenerife.

NOROESTE PENINSULAR (GALICIA)

Granitos con un alto grado de fracturación, se alcanzan temperaturas de hasta 80 ºC a partir de los 500 m de profundidad.

ZONA PIRINEO CENTRAL (ÁREA DE JACA SABIÑÁNIGO)

Existe un acuífero termal (> 140 ºC) detectado en materiales Paleoceno-Eocenos mediante sondeos petrolíferos a más de 3.000 m de profundidad.

CUENCA DEL EBRO

Tres acuíferos potenciales:

- Lérida: acuífero Triásico albergado en carbonatos y rocas detríticas localizadas a 1.500 m de profundidad presenta características de 60 ºC.
- Huesca: acuífero Jurásico en carbonatos con temperaturas próximas a los 90 ºC a partir de los 2.000 m.
- Vitoria-Treviño: acuífero Cretácico en carbonatos con temperaturas de hasta 60 ºC a los 2.000 m.

CADENAS COSTERAS CATALANAS

Serie de cuencas (grabens) en el margen nororiental de la Península con importantes manifestaciones geotérmicas:

- Graben de Vallés-Penedés: potencias de 1.000 m a 3.000 m de materiales miocenos. El recurso geotérmico se encuentra en la falla principal (Noroeste) con temperaturas medidas de 90 ºC a 1.000 m.
- Graben de La Selva: de características similares al graben de Vallés-Penedés y situado al norte de este.
- Graben de Ampurdán: acuífero en carbonatos del Eoceno, con una potencia de 4.000 m y temperaturas de hasta 150 ºC.

CORDILLERAS BÉTICAS

Incluye varias cuencas como las de Granada, Guadix-Baza, Almería, Mula, Mazarrón, Cartagena, Guadalentín, Lluchmajor (Mallorca), etc. La secuencia litológica general de estas cuencas es de sedimentos terciarios sobre una formación carbonática alóctona, relativamente permeable aunque de gran complejidad. Se han identificado acuíferos de 50 ºC a profundidades menores a los 1.000 m.

ALBACETE-CUENCA

Acuíferos carbonáticos de edad Mesozoica de hasta 80 ºC a 2.000 m de profundidad.

CUENCA DEL GUADALQUIVIR

Acuífero de la dolomita Jurasica a 2.000 m presenta temperaturas de hasta 80 ºC.

SALAMANCA-CÁCERES

Granitos y metasedimentos Paleozoicos extensamente fracturados.

INVESTIGACIÓN EN LA CUENCA NORTE DE MADRID

- Campaña Geofísica. SHELL-CAMPSA.
- Sondeo de investigación petrolifera Tielmes-Valdebró.
- Sondeo de investigación petrolifera El Pradillo.
- Sondeo de investigación Geotérmica en Tres Cantos.
- Sondeo de investigación Geotérmica en San Sebastián de Los Reyes.

Sondeo geotérmico de Tres Cantos (Prof.: 2.300 m; Temp.: 83°C; IGME 1982). La calefacción con geotermia de baja temperatura requiere cierta concentración de la demanda. Un número significativo de viviendas conectadas a sistemas centralizados de calefacción

INVESTIGACIÓN EN LA CUENCA NORTE DE MADRID

- Se detectó un acuífero profundo (1500-2400 m) en areniscas terciarias
- Temperaturas entre 60 – 92 ºC. Se estimó caudales de producción de 170 m³/h

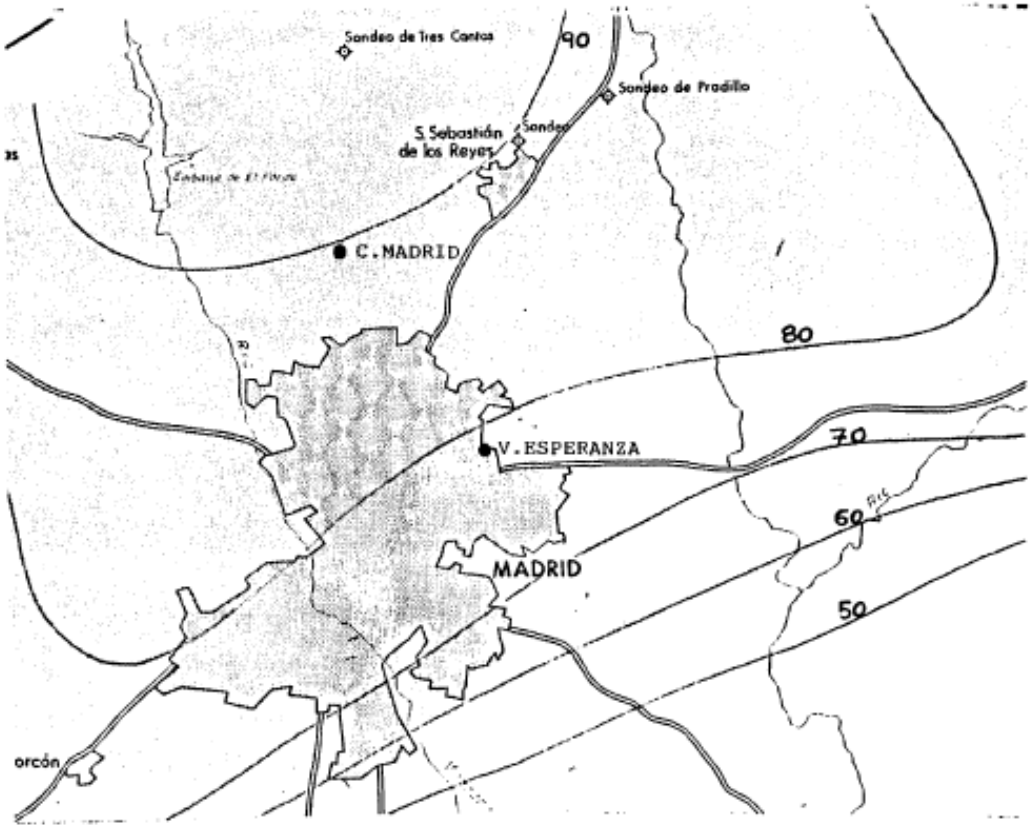


Figura 4.- MAPA DE TEMPERATURAS

Fuente:Estudio de Factabilidad técnica-económica de operaciones Geotérmicas en varias zonas del Norte de Madrid (E.N. ADARO)

INVESTIGACIÓN EN LA CUENCA NORTE DE MADRID

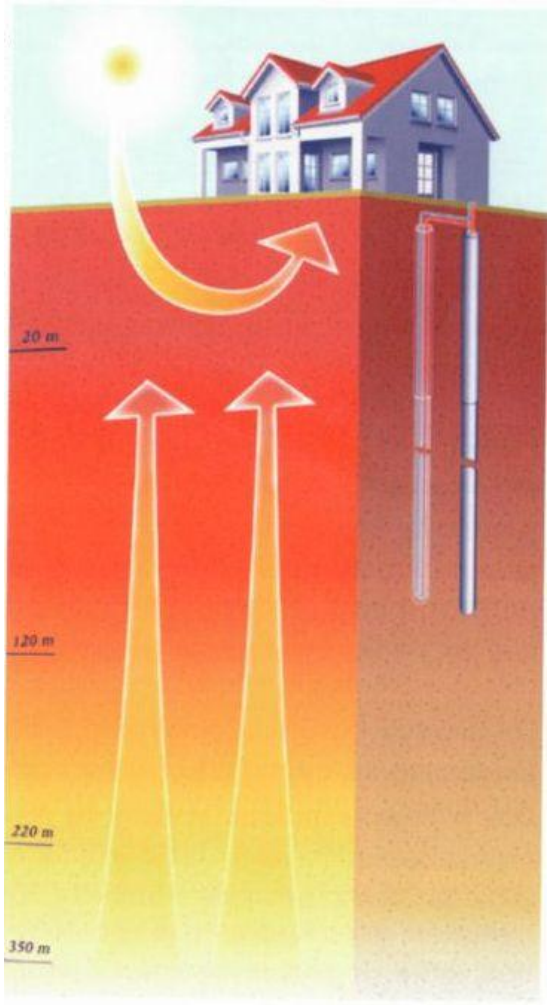
- Se desarrollaron varios estudios de viabilidad técnica-económica en la zona.

UBICACIÓN	PROYECTO	INVERSIÓN TOTAL (MP)	COSTE ANUAL Op+Mant (MP)	SUSTITUCIÓN ANUAL (TEP/año)	PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (años)
Carretera de Colmenar Viejo	Calefacción y ACS: -Ciudad Escolar - Colegio S. Fernando - R. Ancianos - Hospital Psiquiátrico - Polideportivo - Viviendas	250	30	2120	10,8
San Sebastián de Los Reyes	Calefacción y ACS: -7 Centros Escolares -4067 Viviendas	1.263	69	2859	14
Urbanización Virgen de La Esperanza	Calefaccnión y ACS: -3310 viviendas	667,5	25	1142	12

Fuente:Varios informes de factabilidad técnico-económica (IGME)

MUY BAJA TEMPERATURA

GEOTERMIA DE MUY BAJA ENTALPÍA O GEOTERMIA SOMERA



Se aprovechan temperaturas del terreno inferiores a 30ºC.

Se pueden implantar en cualquier parte del planeta.

Su principal aplicación es la CLIMATIZACIÓN y producción de ACS, mediante el uso de bomba de calor.

Presentan un gran potencial, gracias al desarrollo tecnológico actual de las bombas de calor.

Fuente: Geothermie. L´utilisation de la chaleur terrestre. Suisse énergie.)

MUY BAJA TEMPERATURA

- PERFIL TÉRMICO DEL TERRENO

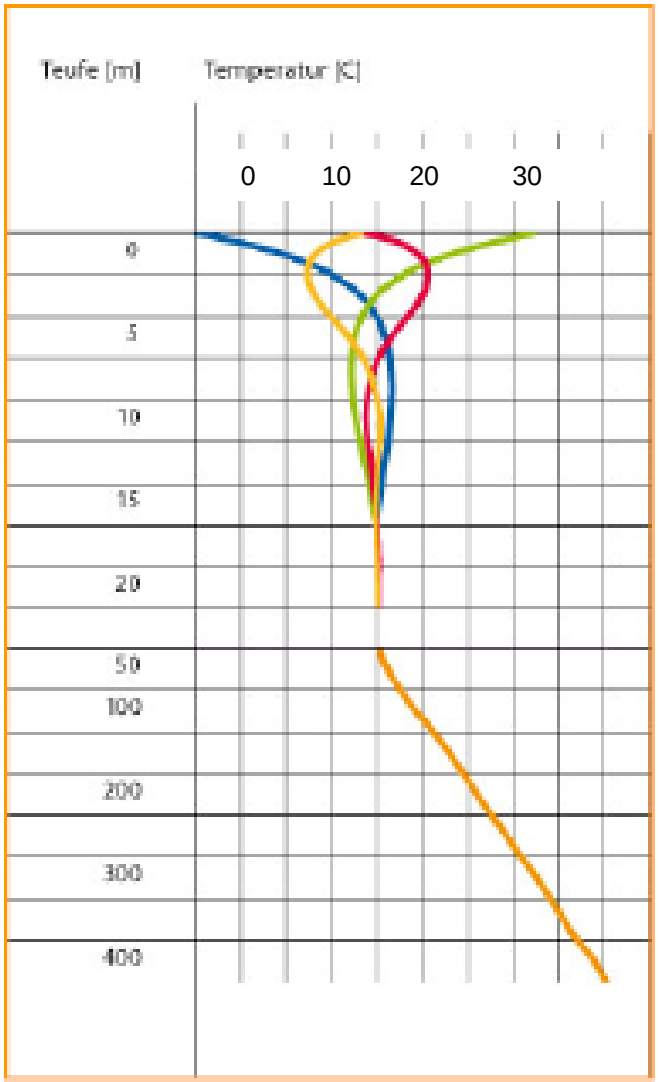
0-10 m : Temperatura variable:

(influenciada por Tª ambiente).

10-50 m : Zona Neutral:

(Tª constante).

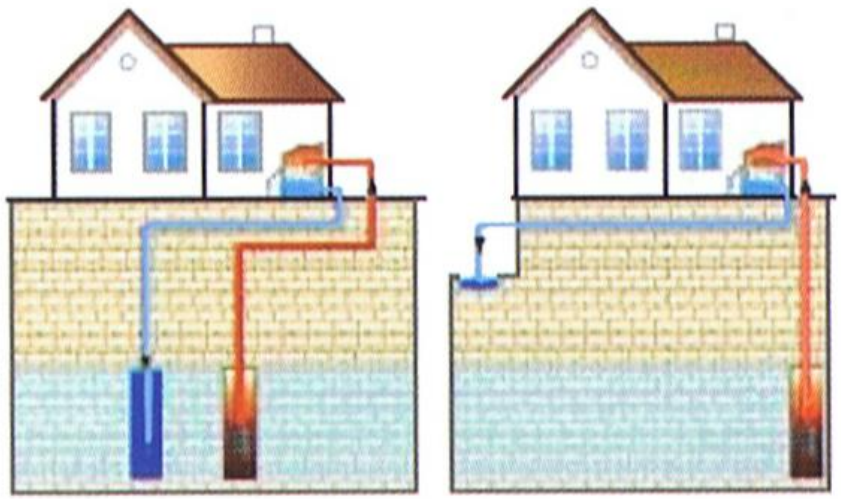
A partir de 50m: Aumento de Tª según el gradiente geotérmico.



Fuente: Guia de la Energía Geotérmica. Comunidad de Madrid

TIPOS DE INSTALACIONES

-SISTEMAS DE CIRCUITO ABIERTO



Fuente: Manual de Geotermia. IGME, IDAE.

VENTAJAS :

-Su instalación es económica.

- Se pueden obtener buenos rendimientos.

LIMITACIONES E INCONVENIENTES:

-Largos y complicados trámites de permisos.

-Se debe controlar la contaminación térmica que se produce en el acuífero.

-Debe existir una cierta distancia entre instalaciones, para no producir interferencias en las mismas.

TIPOS DE INSTALACIONES

-SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO:

Fuente: Manual de Geotermia. IGME, IDAE.

TIPOS DE INSTALACIONES

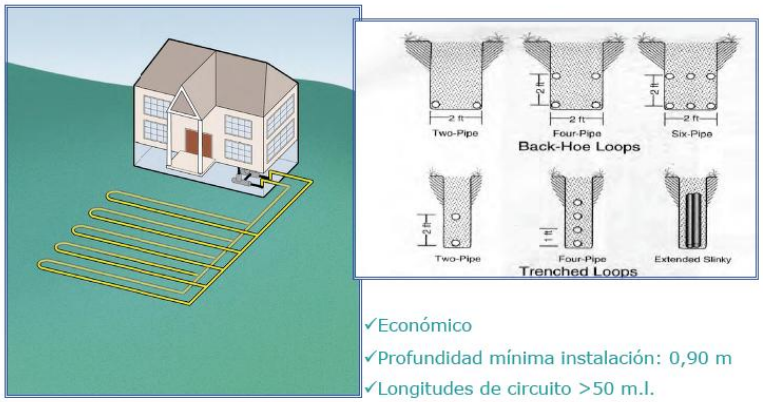
-SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO:

CAPTADORES HORIZONTALES

Fuente: ELK (2004)

Fuente: BOSE (2005)

Fuente: Sol Clima



Fuente: Geothermal Heat Pump Consortium

- ✓Económico
- ✓Profundidad mínima instalación: 0,90 m
- ✓Longitudes de circuito >50 m.l.
- ✓S intercambiador ≈ 1,5 x S construida.

TIPOS DE INSTALACIONES

DISEÑO EN EXCAVACIONES ABIERTAS:

- Profundidad entre 1,2 – 1,5 m

- Normalmente se rellena con el propio material de excavación, excepto si el suelo es pedregoso, o muy arcilloso, que se rellena con arena compactada.

- La superficie no se puede impermeabilizar, para permitir la recarga térmica del terreno. Se pueden plantar arbusto, césped, etc.. pero no arboles.

- La distancia entre los tubos no debe ser inferior a 0,4 m, para evitar riesgo de congelación del suelo.

- Requiere una superficie de terreno contigua a la edificación de dimensiones considerables (entre 1,5 y 2 veces la superficie a climatizar).

TIPOS DE INSTALACIONES

DISEÑO EN ZANJAS:

- Profundidad entre 1,2 – 1,5 m

- Anchura mínima de la zanja de 0,6 m.

- Se rellena con arena, compactando por capas.

- La distancia entre los tubos no debe ser inferior a 0,4 m, para evitar riesgo de congelación del suelo.

- Se suelen instalar 35 – 55 m de tubo por KW de potencia de calefacción y refrigeración (18 W/m).

TIPOS DE INSTALACIONES

SISTEMAS DE EXPANSIÓN DIRECTA:

- El fluido calor-portador es el propio fluido-refrigerante de la bomba de calor.

- Se elimina la bomba de circulación y el intercambiador fluido-refrigerante.

- Se obtiene un mayor rendimiento.

- Las tuberías enterradas son de cobre, revestidas de polietileno o polipropileno.

- La distancia entre tuberías debe ser al menos de 0,8 m.

TIPOS DE INSTALACIONES

OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO

-Los tubos enterrados deben encontrarse a:

- Más de 2 m de distancia de árboles.

- Más de 1,5 m de conducciones enterradas no hidráulicas.

- Más de 3 m de distancia de cimentaciones, pozos, fosas sépticas y redes de desagüe.

TIPOS DE INSTALACIONES

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HORIZONTALES:

- Coste de la instalación mucho más económica que en los sistemas verticales.

LIMITACIONES E INCONVENIENTES LOS SISTEMAS HORIZONTALES:

- La eficiencia del sistema es inferior a los captadores verticales.

- Requiere que el terreno sea fácilmente ripable hasta al menos 1,0 o 1,5 m de profundidad.

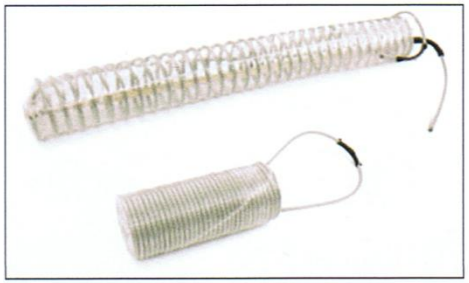
- Requiere una superficie de terreno contigua a la edificación de dimensiones considerables.

-En la superficie del campo de captación queda limitado para otros usos.

TIPOS DE INSTALACIONES

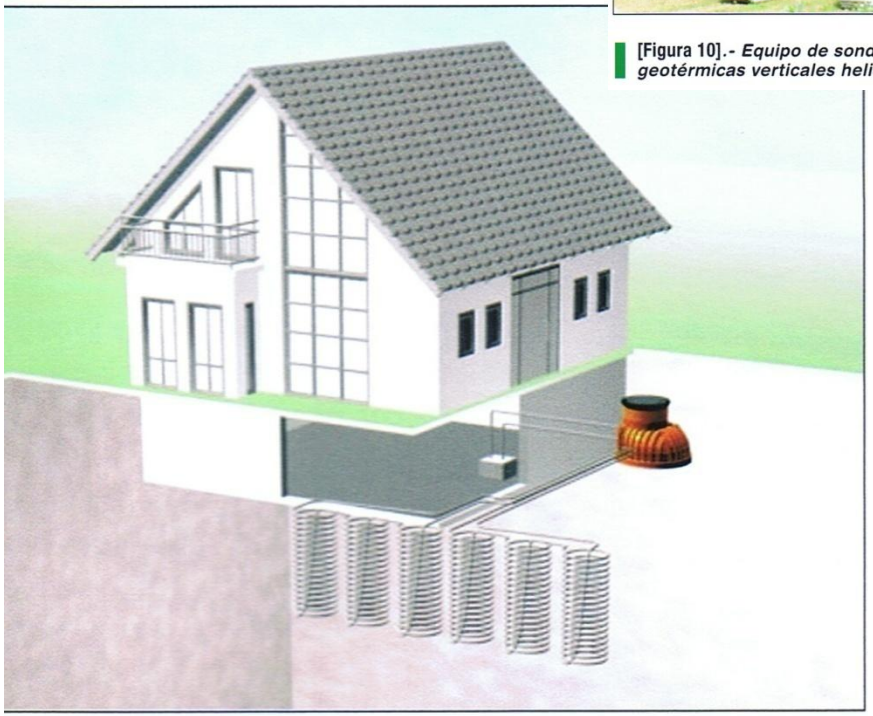
-SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO:

SONDAS HELICOIDALES

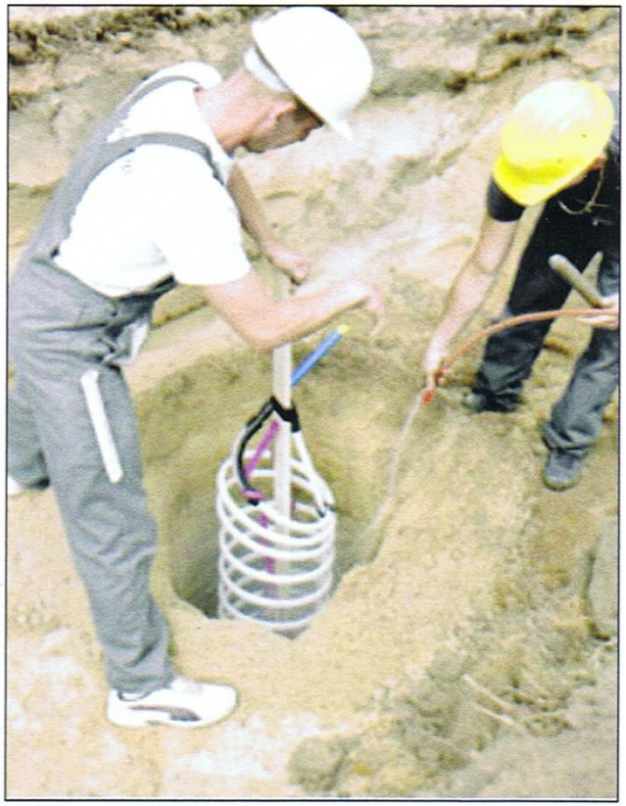


[Figura 9].- *Nueva sonda helicoidal en PE-Xa (embalada para el transporte y preparada para su instalación).*

[Figura 10].- *Equipo de sondeo para la instalación de sondas geotérmicas verticales helicoidales.*



igura 8].- *Posición de montaje de las sondas helicoidales PE-Xa.*

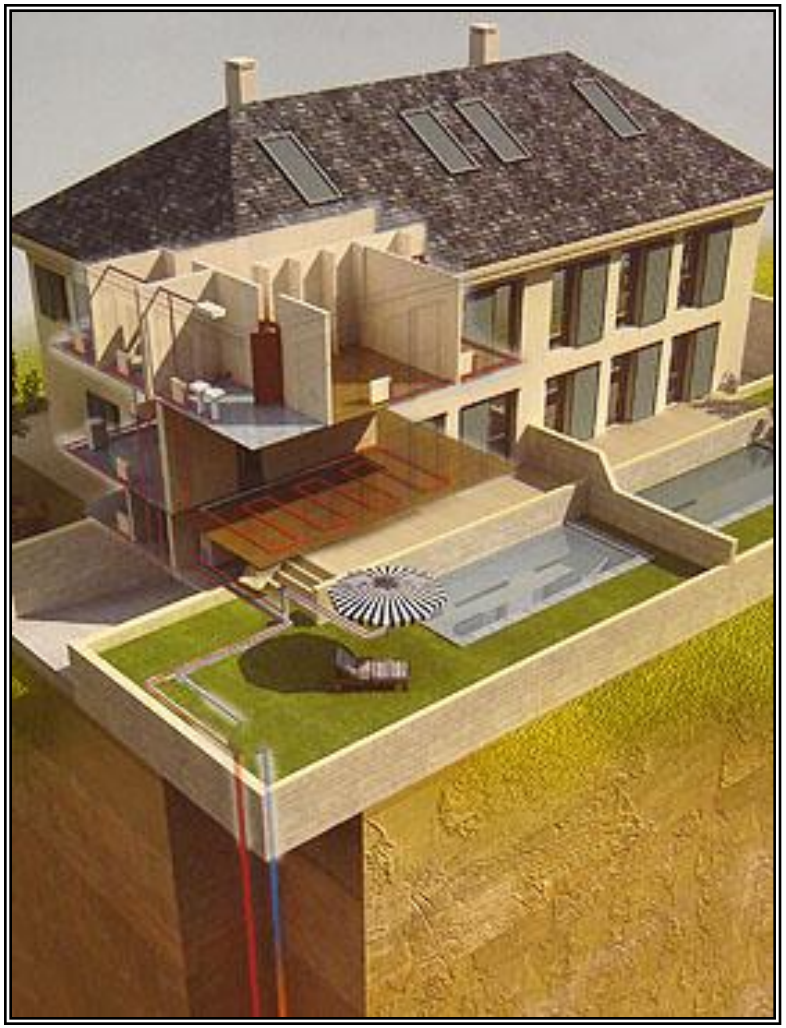


[Figura 11].- *Instalación rápida y sencilla de una helicoidal de PE-Xa.*

Fuente: Ingeopres nº 189. Industrias Rehau, S.A.

TIPOS DE INSTALACIONES

-SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO: CAPTADORES VERTICALES



Requiere poco terreno, se pueden ubicar bajo el edificio.

Tienen mayor rendimiento.

Vertical: Ratio medio 40 – 60 W/m

Horizontal: Ratio medio 12-20 W/m

El 80% de las Instalaciones geotérmicas someras, se realizan mediante captadores verticales.

TIPOS DE INSTALACIONES

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

-Los sondeos deben estar ubicados a:

- Más de 2 m de cimentaciones.
- Más de 0,7 m de tuberías de abastecimiento de agua y de otras conducciones subterráneas.

-La distancia entre sondeos debe ser de al menos:

- 5 m para sondeos inferiores a 50 m de profundidad
- 6 m para sondeos entre 50 y 100 m de profundidad.

TIPOS DE INSTALACIONES

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS VERTICALES:

- Gran eficiencia del sistema en climatización y producción de ACS.

- No requieren una gran superficie de terreno, pudiéndose incluso realizar la instalación bajo el sótano del edificio.

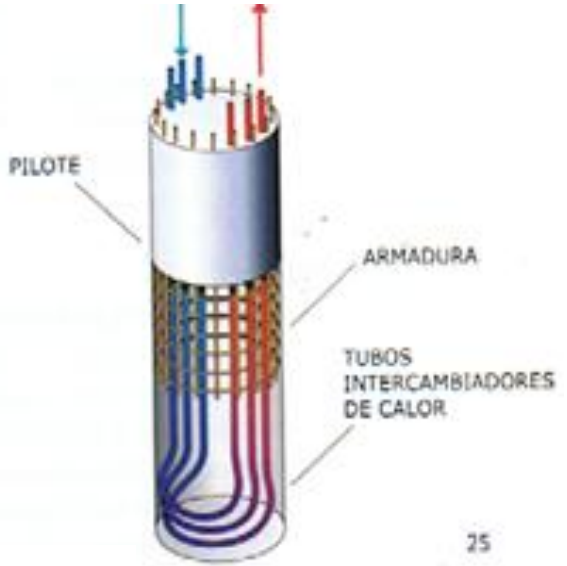
LIMITACIONES E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS VERTICALES:

- La instalación supone un coste inicial considerable, debido al precio de la perforación.

- Mayor complejidad de instalación. Requiere de empresas especializadas

TIPOS DE INSTALACIONES

CIMENTACIONES ACTIVAS



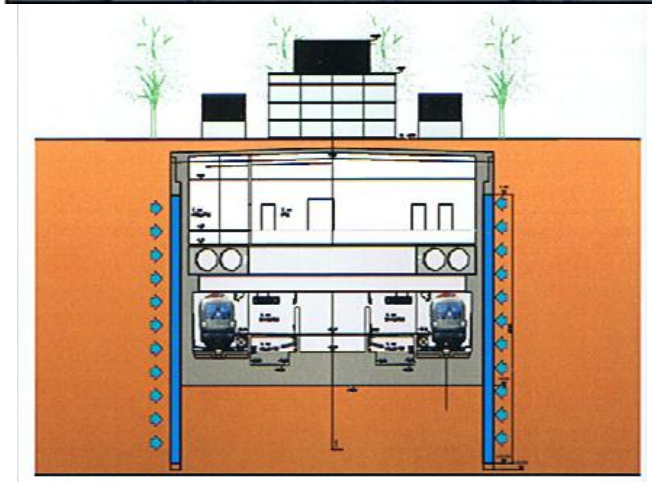


Foto 1.3. Vista en sección transversal de la colocación de las tuberías dentro de la armadura del pilote (Fuente: www.enercret.com).

TIPOS DE INSTALACIONES

CIMENTACIONES ACTIVAS

OTROS TIPOS DE INSTALACIONES

- SISTEMAS DE AGUAS DE MINAS Y TÚNELES

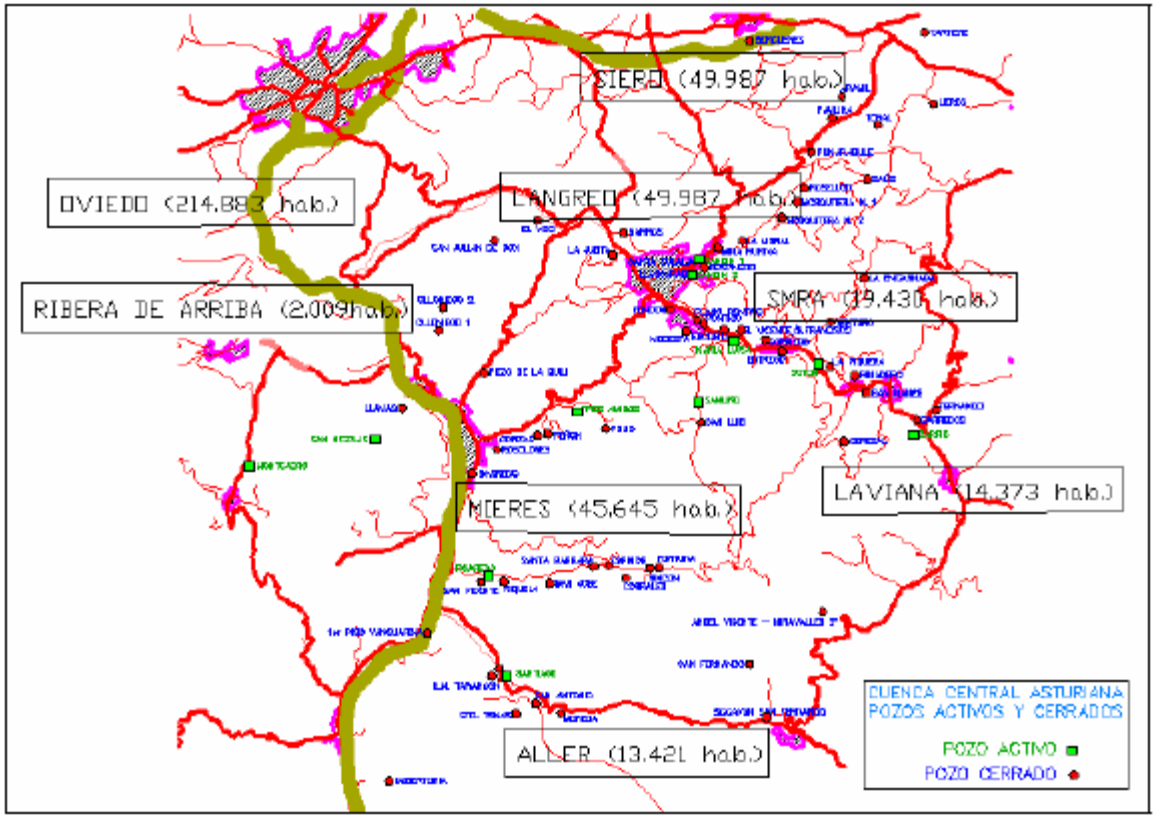


Figura 1: Situación de los pozos de HUNOSA respecto núcleos de población de la Cuenca Central

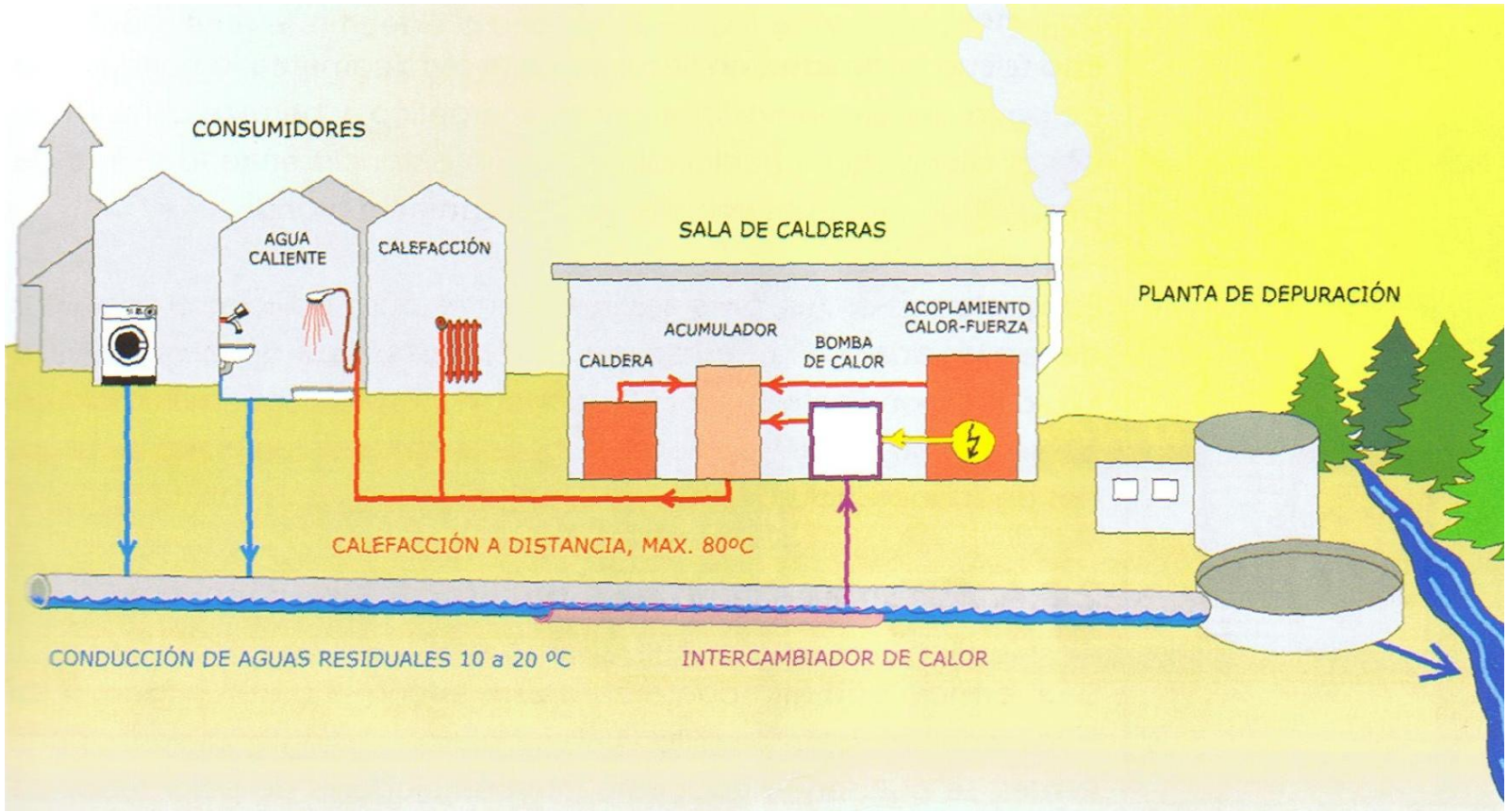
OTROS TIPOS DE INSTALACIONES

- **SISTEMAS DE AGUAS DE MINAS Y TÚNELES**

Figura 3: Maqueta del nuevo Campus de Mieres

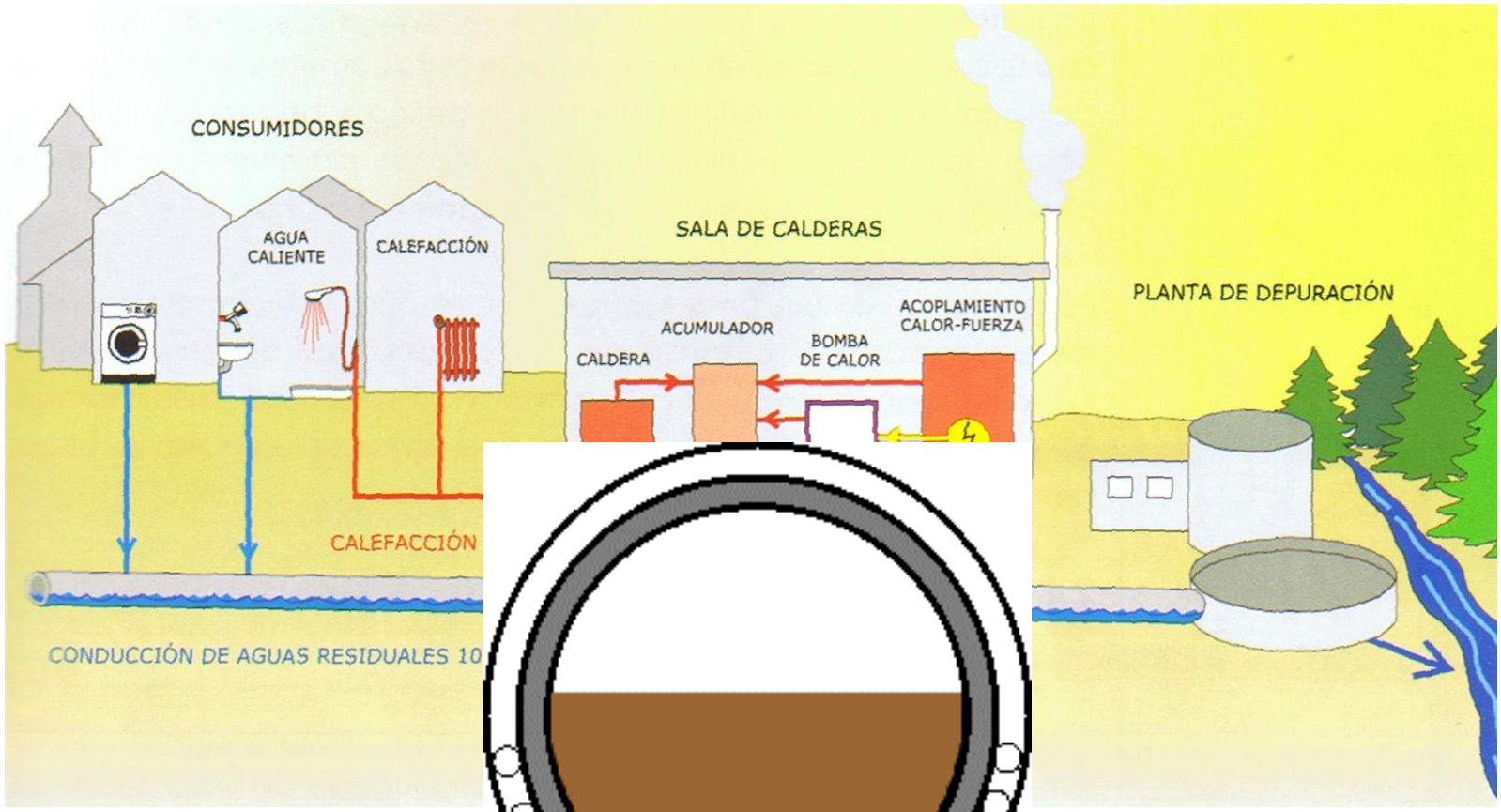
OTROS TIPOS DE INSTALACIONES

- SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE AGUAS RESIDUALES



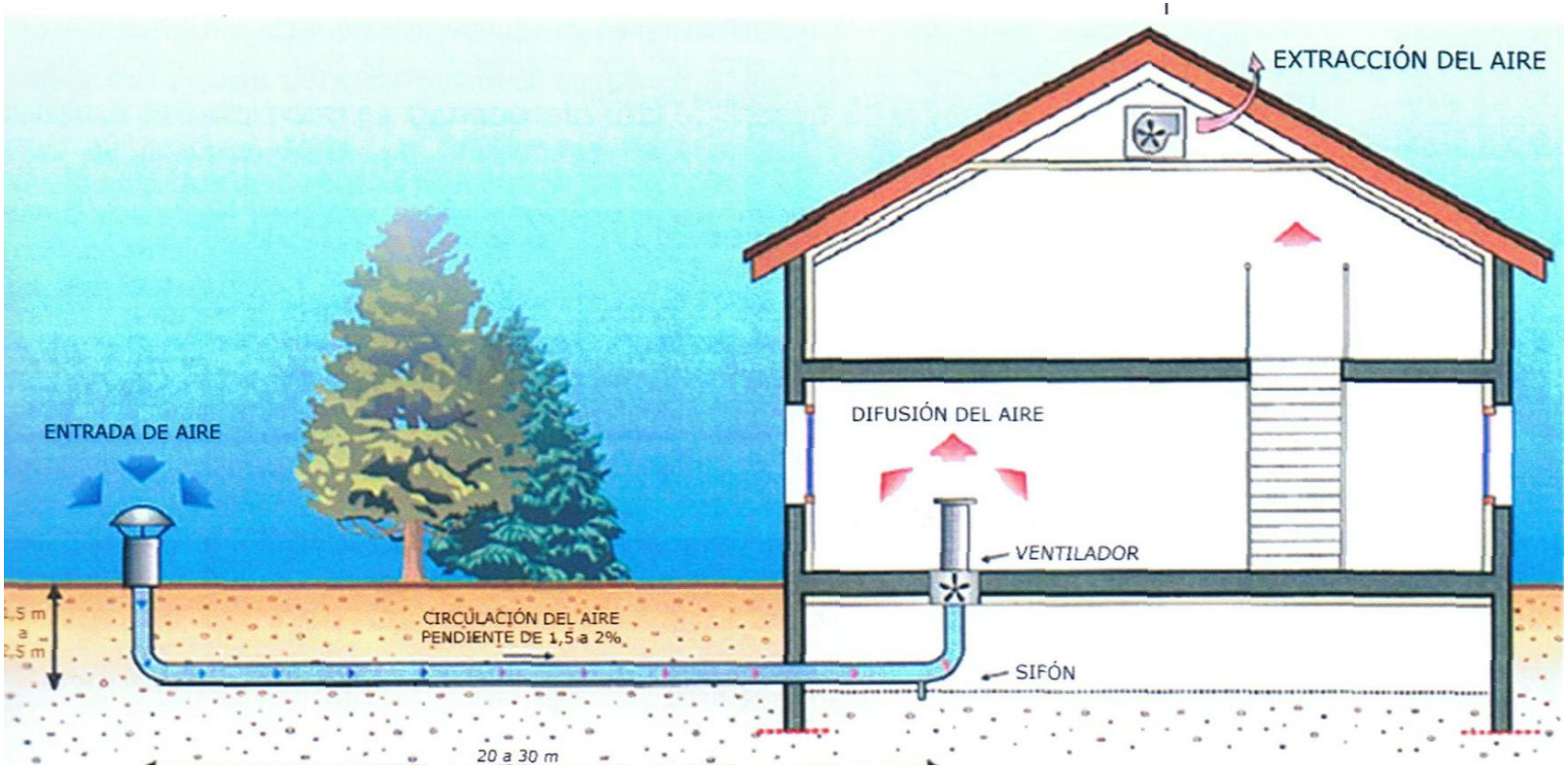
OTROS TIPOS DE INSTALACIONES

- SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE AGUAS RESIDUALES



OTROS TIPOS DE INSTALACIONES

- SISTEMAS TIERRA-AIRE: POZOS CANADIENSES O PROVENZALES

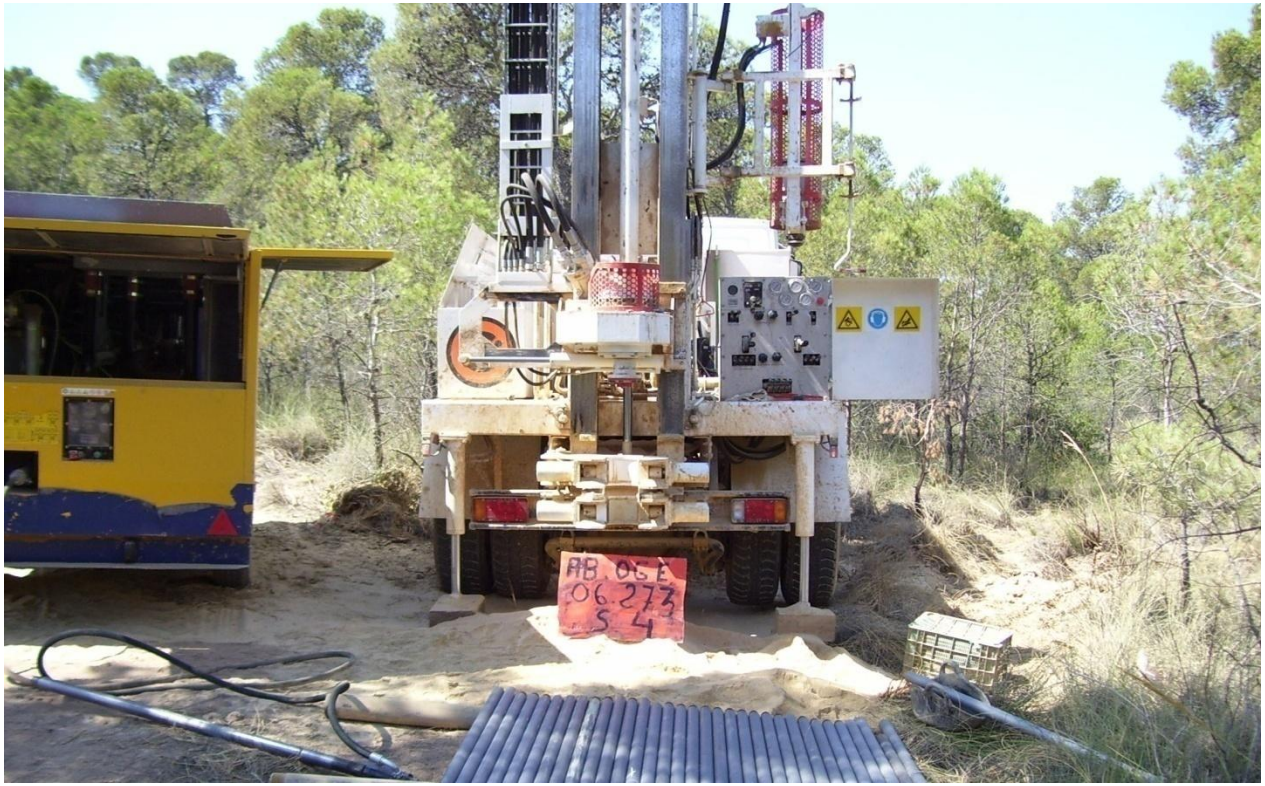


PERFORACIÓN

-LA PERFORACIÓN EN CAPTADORES VERTICALES:

Se realizan las perforaciones de entre 60 - 150 m de profundidad.

-Diámetro 140-160 mm



Fuente: Geocesa. Perforaciones a rotación con aire comprimido.

SISTEMAS DE PERFORACIÓN

ROTOPERCUSIÓN NEUMÁTICA

VENTAJAS

-Económico

-Alto rendimiento

-Limpieza

-Equipos ligeros

-No necesita infraestructura

DESVENTAJAS

-No apto para formaciones inestables

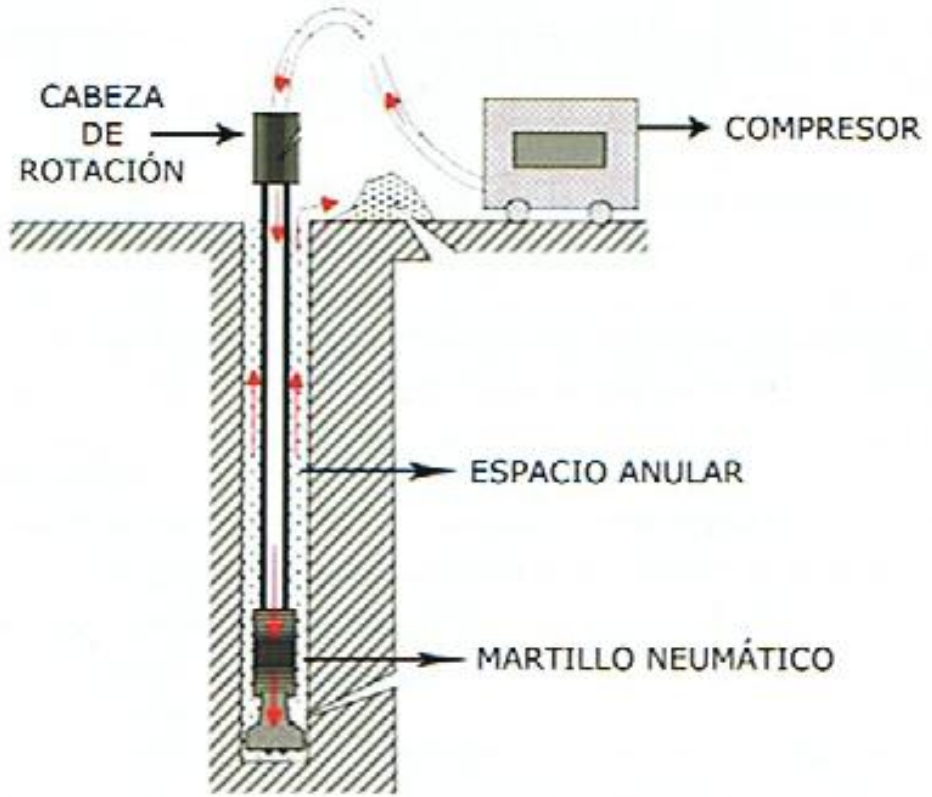


Figura 3.2. Perforación a rotopercusión neumática con martillo en fondo.

SISTEMAS DE PERFORACIÓN

ROTACIÓN CON CIRCULACIÓN DIRECTA DE LODOS

VENTAJAS

-Apto para formaciones inestables

DESVENTAJAS

-Mayor coste

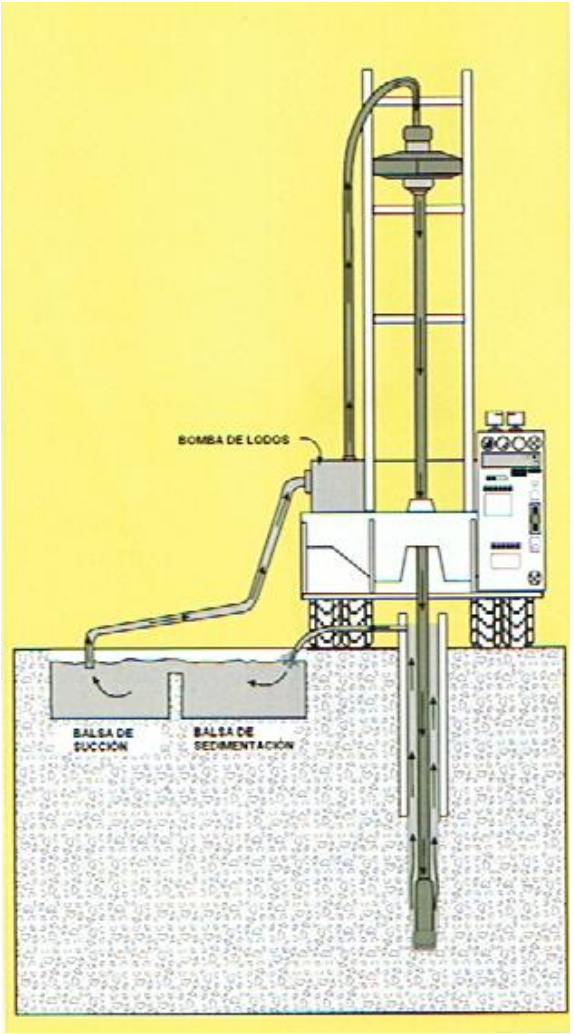
-Menor rendimiento

-Produce más suciedad

-Requiere una mayor superficie de trabajo

-Se deben gestionar los lodos

-La máquina debe ser más potente



SISTEMAS DE PERFORACIÓN

SISTEMAS DE PERFORACIÓN CON ENTUBACIÓN SIMULTÁNEA

-Sistemas con Doble unidad de Rotación.

La unidad de rotación inferior hace girar la entubación.

La unidad de rotación superior hace girar la sarta de perforación.

Con estos equipos se puede perforar y entubar simultáneamente hasta 120-150 m.

Principales características de equipos de perforación geotérmica:

- Triple mordaza.
- Cargador magnético
- Preventer
- Montado sobre orugas de goma
- Capacidad de extracción de 15-20 Tn
- Opcionalmente:
- Cargador automático
- Pluma
- Equipo de soldadura

SISTEMAS DE PERFORACIÓN

UTIL DE PERFORACIÓN	FLUIDO DE PERFORACIÓN	
	AIRE	LODO
TRIALETA	ROTACIÓN Terrenos estables Rocas Rc< 60 Kg/cm² No abrasivas	ROTACIÓN Terrenos inestables (arenas, gravas, rellenos, etc.)
TRICONO	ROTACIÓN Terreno estables Rocas Rc(60-100) Kg/cm²	
MARTILLO EN FONDO	ROTOPERCUSIÓN Terrenos estables con Rc>100 kg/cm²	
SISTEMA ODEX O ROTA ODEX	ROTOPERCUSIÓN Terrenos inestables en superficie (hasta 35m), y formación estable a partir de dicha profundidad.	
DOBLE SISTEMA DE ROTACIÓN	Alternancia de formaciones estables duras y formaciones inestables.	

COMPONENTES DEL CAMPO DE SONDAS

Foto 4.7. Pies de sonda y espaciadores (Fuente: Monnot, P.. Département Géothermie. BRGM. Francia, 2007).

- -SONDAS
- -PESO (LASTRE)
- -SEPARADORES
- -TUBO MANGUITO
- -COLECTOR HORIZONTAL
- -ARQUETAS DE REGISTRO
- -PIEZAS DE CONEXIÓN

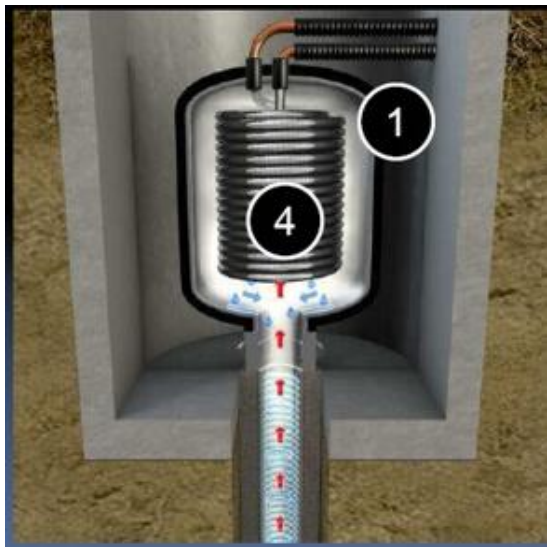
COMPONENTES DEL CAMPO DE SONDAS

MATERIALES DE LAS SONDAS GEOTÉRMICAS

- POLIETILENO BAJA DENSIDAD (PE)
- POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)
- SONDAS METÁLICAS (acero inoxidable)

118

Foto 4.6. Palet con sondas geotérmicas HAKA GERODUR, en forma de simple U, pie de sonda, cubeta de decantación y chapa para colgar el lastre (Fuente: Morand Forages. St André Goule d'Oie. Francia).



COMPONENTES DEL CAMPO DE SONDAS

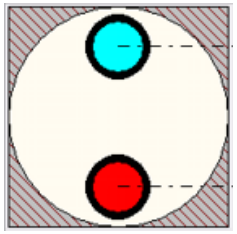
PE 100 SDR 11 PN 16

PE = POLIETILENO DE BAJA

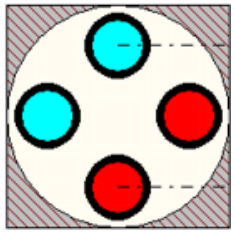
100 = RUGOSIDAD

SDR 11= RELACIÓN ENTRE EL DN Y EL ESPESOR. 32/2,9

PN 16 = PRESIÓN NOMINAL DE TRABAJO 16 bar



DN = DIÁMETRO NOMINAL. 40 mm



DN = DIÁMETRO NOMINAL. 32 mm

COMPONENTES DEL CAMPO DE SONDAS

Propiedades	PE-Xa	PE 100
Imágenes tipos de tubo		
Material	Polietileno reticulado a alta presión	Polietileno
Cumple la norma	DIN 16892/16893	DIN 8074/8075
Resistencia en ensayo de fatiga (factor de seguridad SF=1,25)	Tubos SDR 11 (20 x 1,9, 25 x 2,3, 32 x 2,9, 40 x 3,7)	
20 °C	100 años/15 bar	100 años/15,7 bar
30 °C	100 años/13,3 bar	50 años/13,5 bar
40 °C	100 años/11,8 bar	50 años/11,6 bar
50 °C	100 años/10,5 bar	15 años/10,4 bar
60 °C	50 años/9,5 bar	5 años/7,7 bar
70 °C	50 años/8,5 bar	2 años/6,2 bar
80 °C	25 años/7,6 bar	-
90 °C	15 años/6,9 bar	-
Temp. de servicio continuas	-40 °C hasta 95 °C	-20 °C hasta 30 °C
Temp. de tendido mínima	-30 °C	-10 °C

COMPONENTES DEL CAMPO DE SONDAS

RECEPCIÓN DE LAS SONDAS EN OBRA:

- COMPROBAR DOCUMENTACIÓN (fecha fabricación, longitud, etc).

- MANIPULACIÓN CUIDADOSA (no arrastrar, almacenar a la sombra).

- INSPECCIÓN VISUAL (PE 100, prof. Fisura máx admisible 10% del espesor de la pared)

- PRUEBA DE ESTANQUEIDAD ANTES DE COLOCARLAS

COLOCACIÓN DEL INTERCAMBIADOR

COLOCACIÓN DE LA SONDA

- LLENAR LA SONDA DE FLUÍDO CALOR PORTADOR

- SE INTRODUCE CON EL PESO CORRESPONDIENTE

- ANTES DE INTRODUCIR EL RELLENO, ES CONVENIENTE HACER UNA PRUEBA DE PRESIÓN, APLICANDO 6 bares DURANTE 30 min. LA PRESIÓN NO DEBE CAER MÁS DE 0,6 bar.

RELLENO Y CEMENTACIÓN DEL SONDEO

- LA FUNCIÓN DEL RELLENO DEL SONDEO ES:

-PROTEGER LA SONDA

-GARANTIZAR EL CONTACTO TÉRMICO ENTRE TERRENO Y FLUÍDO CALOR PORTADOR

-AISLAR EL SONDEO DEL EXTERIOR

-EVITAR CONTAMINACIÓN ENTRE LOS ACUÍFEROS ATRAVESADOS

RELLENO Y CEMENTACIÓN DEL SONDEO

- LA FUNCIÓN DEL RELLENO DEL SONDEO ES:

-PROTEGER LA SONDA

-G
FL

-A

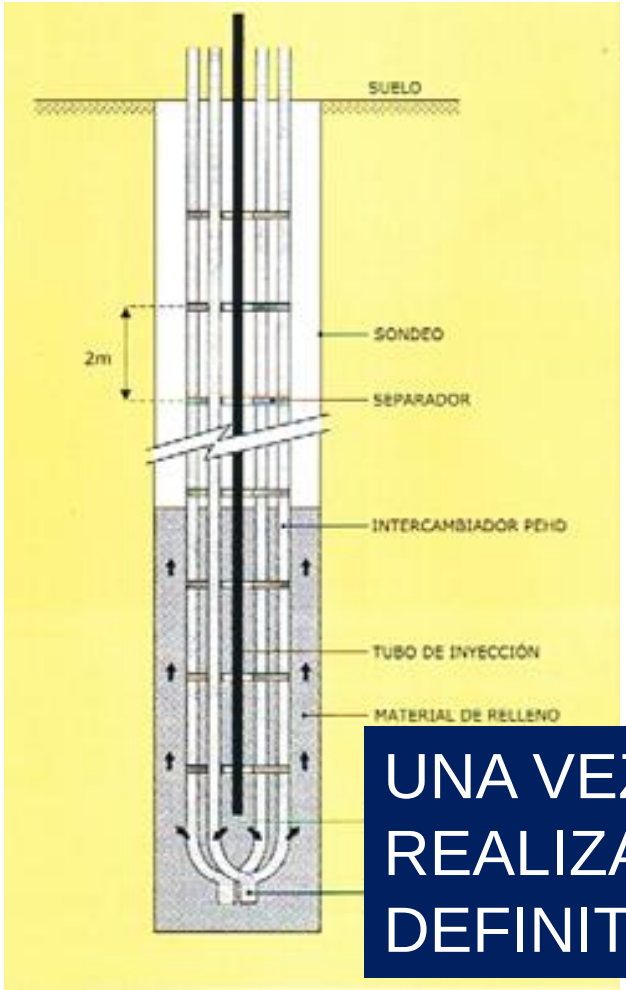
-E
AT

MATERIAL	Conductividad térmica (W/mK)	Conductividad hidráulica	Facilidad de bombeo	Impacto producido por la helada
Arena saturada de agua	1,7 - 2,5	Buena	-	
Arena seca	0,3 - 0,6	Buena	-	
Arcilla	0,9 - 1,4	Baja	Mala	Existe
Bentonita (1,3 g/cm³)	0,7	Muy baja	Buena	Alto
Bentonita con arena	1,4 - 1,8	Muy baja	Mala	Medio
Bentonita - cemento	0,6 - 1,0	Muy baja	Buena	Bajo
Lechada térmicamente mejorada	1,6 - 2,0	Muy baja	Buena	Bajo

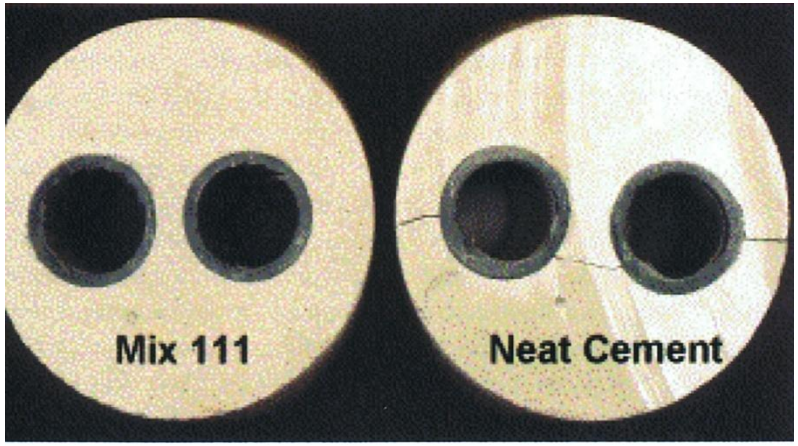
Para comparación:

Aire	0,03
Agua	0,6

CEMENTACIÓN



Cemento + Bentonita + Agua + Arena Silícea



…to 4.10. Probetas de sondas geotérmicas cementadas sometidas a ensayos de ciclos térmicos (Fuente: Illinois State Geological Survey, 2004).

UNA VEZ CEMENTADO EL SONDEO, SE REALIZA UNA PRUEBA DE PRESIÓN DEFINITIVA, SEGÚN DIN V 4979-7

COSTES DEL CAMPO DE CAPTACIÓN

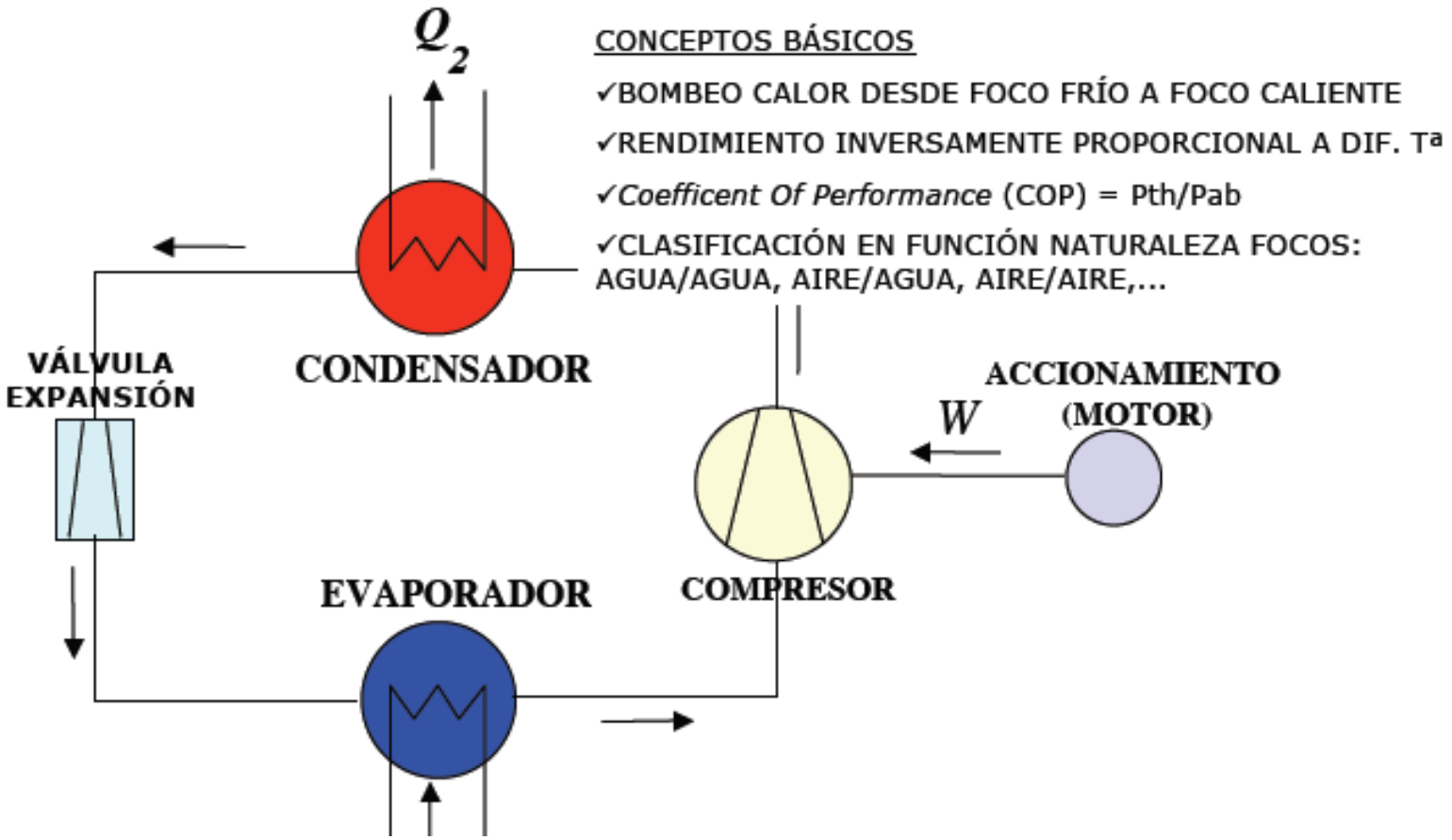
CONCEPTO	PRECIO ORIENTATIVOS
TRASLADO DE EQUIPOS A OBRA (Perforadora+compresor +equipos auxiliares)	1500 - 3000 €
PERFORACIÓN	Terrenos estables: 30-40 €/m
	Terrenos inestables: 40-60 €/m
SONDAS GEOTÉRMICA	9 - 13 €/m
MATERIAL DE RELLENO	3,5 - 5 €/m
INTERCONEXIONES ENTRE SONDAS (colector)	4 - 7 €/m
FLUIDO CALOR-PORTADOR+Anticongelante (25%)	5 - 7 €/m

RATIO: 80 – 140 EUROS/m² A CLIMATIZAR

BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

Se basan en el principio de comportamiento de los gases…

"*Un gas se calienta cuando se comprime, y se enfría cuando se expande*".



BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

TIPOS DE BOMBA DE CALOR SEGÚN FOCO EMISOR O RECEPTOR

Clasificación de equipos

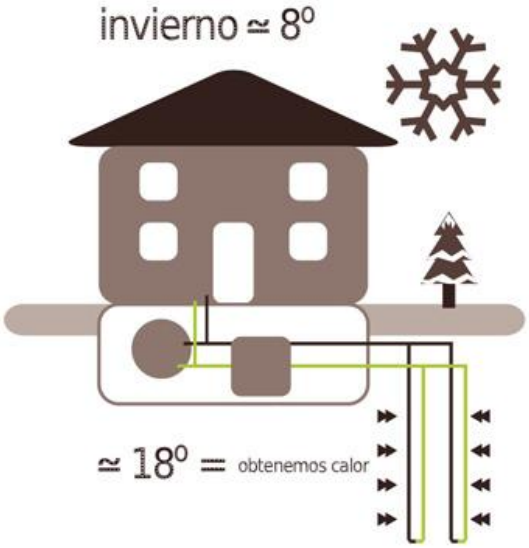
Aire-Agua

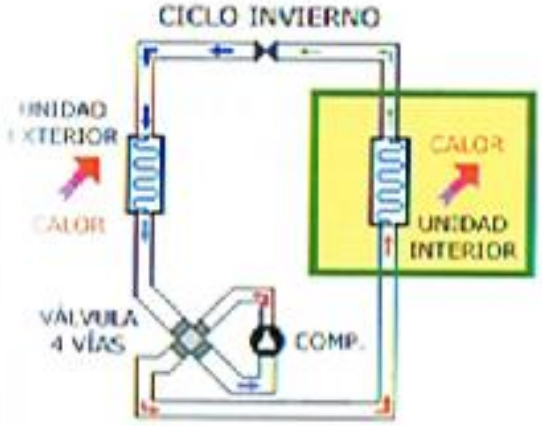
Aire-Aire

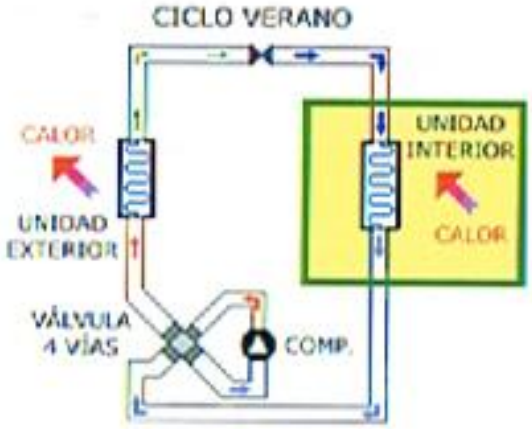
Agua-Aire

Agua-Agua

BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA







COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

El 50% del consumo energético del edificio está ligado a la adecuada protección térmica de su envolvente (fachada, cubiertas y ventanas)

En el interior del edificio, los mayores consumos se producen en:

- **Climatización 42%**
- ACS 26%
- Electrodom+Cocina:
- 23%
- Iluminación: 9%

COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

-CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

- **-Vivienda unifamiliar de 150 m²**
- **- Zona climática: Madrid Norte**
- **-Aislamiento mínimo según CTE**

-DEMANDA

- **- Calefacción + Refrigeración + ACS**
- **- Necesidades anuales de calefacción + ACS = 12.159 kwh**
- **- Necesidades anuales de frío =2.736 kwh**
- **- Sistema de distribución: Suelo radiante**
- **-Producción de ACS instantánea, a 60ºC**

COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

-BOMBA DE CALOR

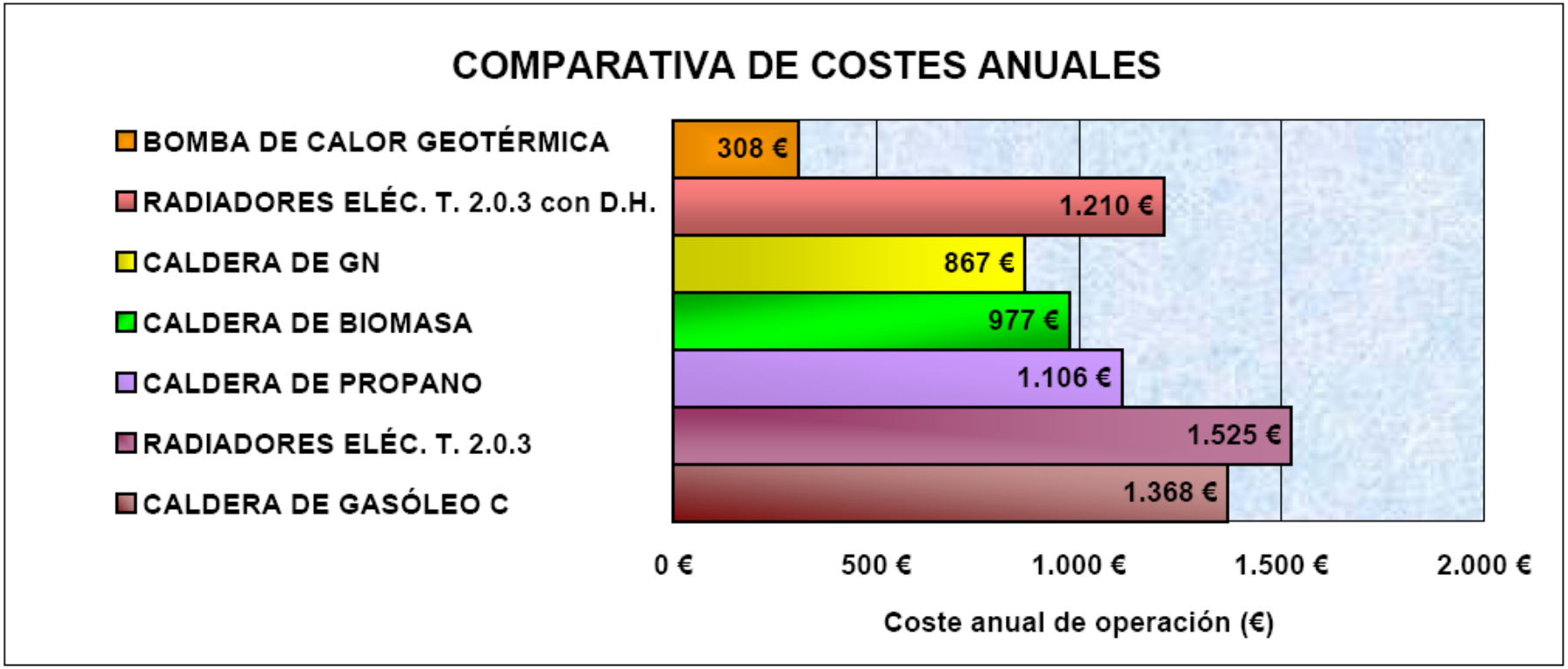
- Potencia 10,5 kw
- COPc= 4,69

-SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA

- 1 Sondeo vertical de 150 m de profundidad
- Sonda PE-100 SDR11 , DN 32 mm; TIPO U DOBLE
- Tipo de terreno = Granito
- Conductividad térmica= 2,1 W/mK
- Capacidad calórica volumétrica = 2,1 MJ/m^{3}K
- Coste de sistema de captación = 11.200 euros

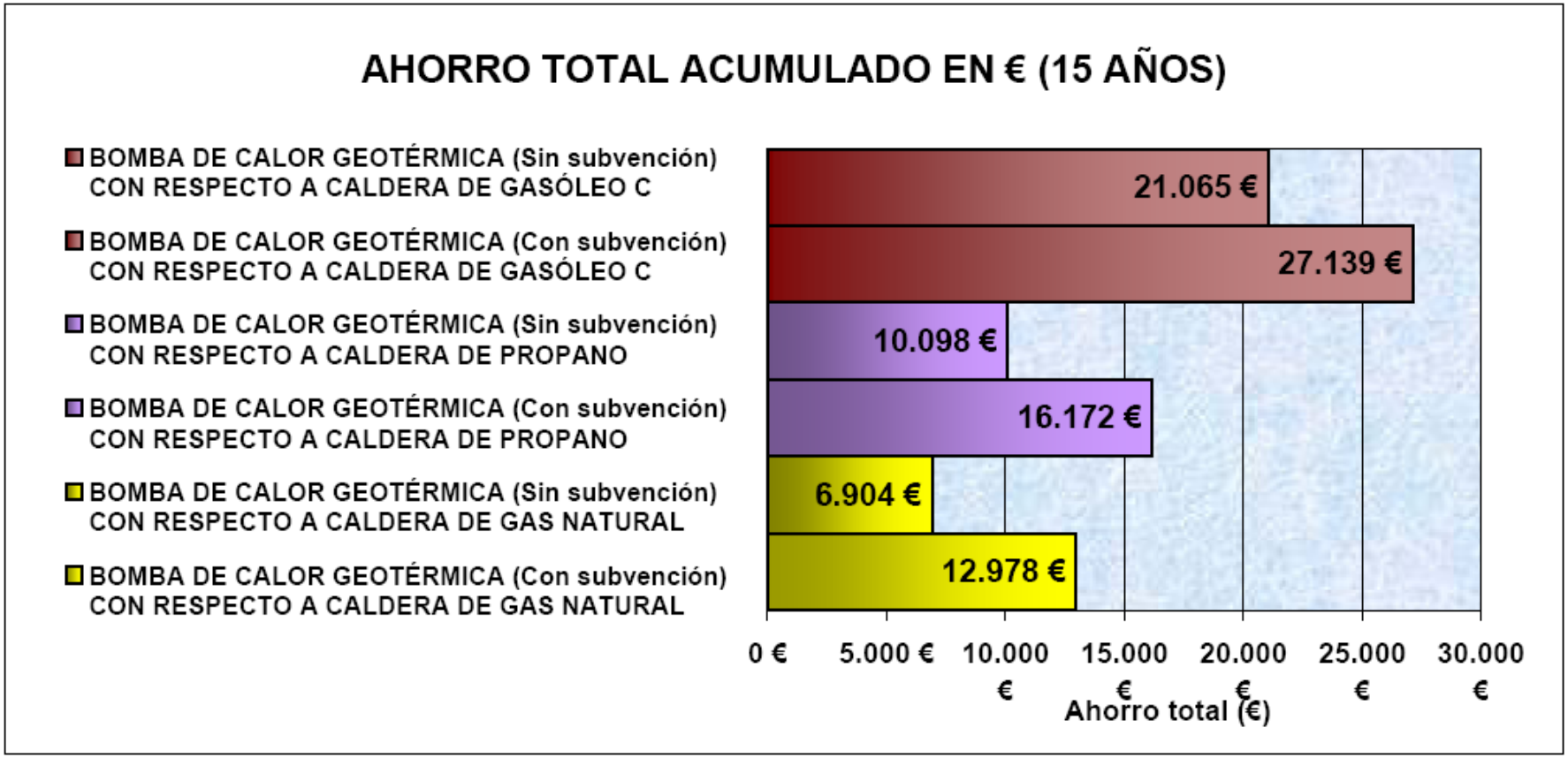
COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA



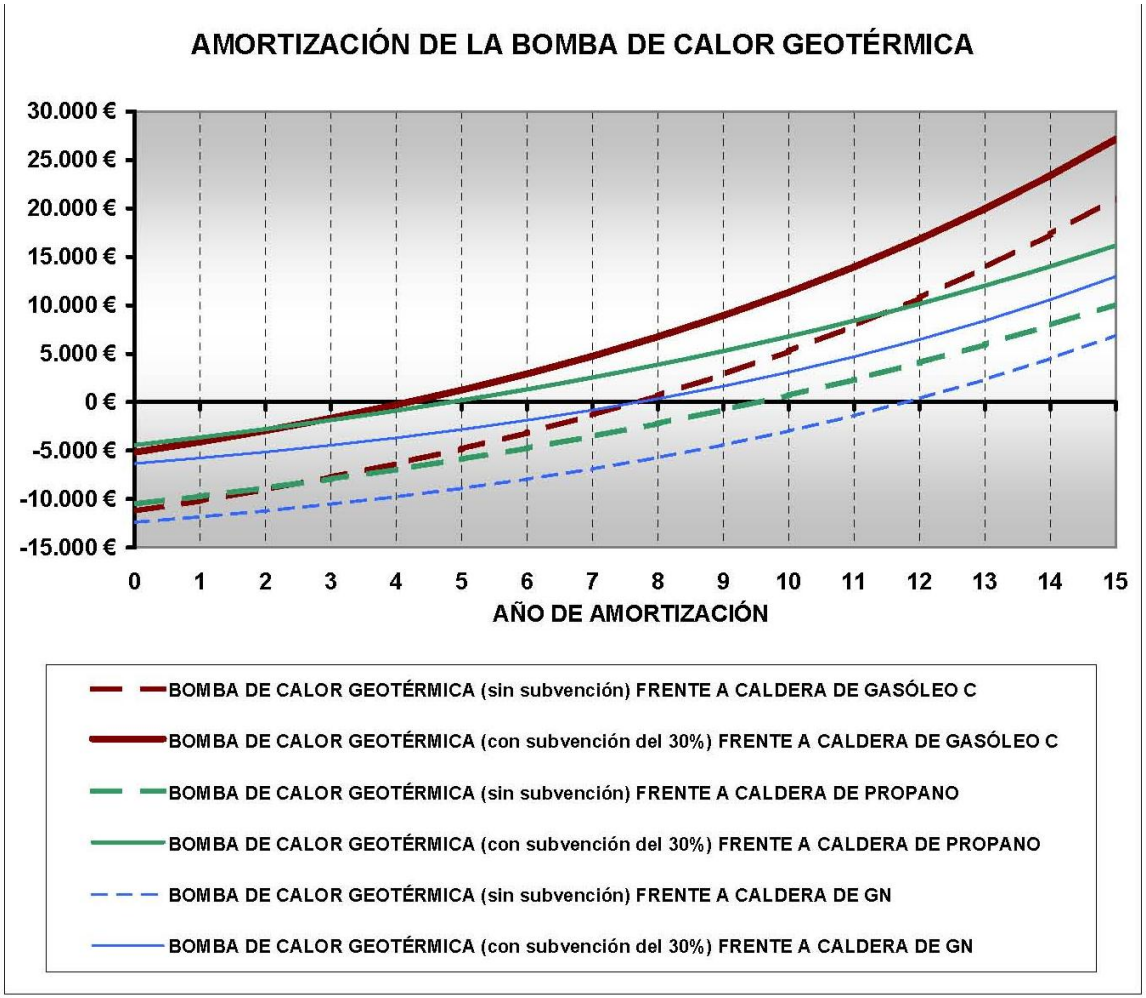
COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA



COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA



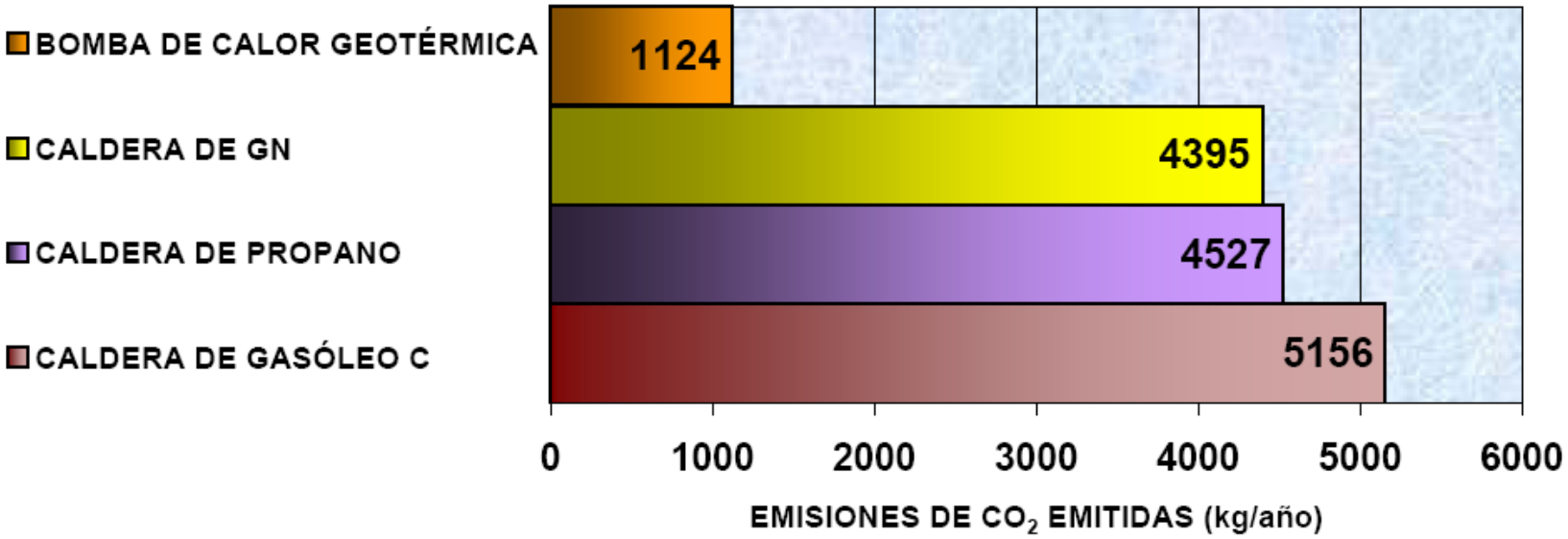
COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Sin subvención) FRENTE A CALDERA DE GASÓLEO C Amortización de la inversión en el octavo año.
	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Con subvención) FRENTE A CALDERA DE GASÓLEO C Amortización de la inversión en el quinto año.
	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Sin subvención) FRENTE A CALDERA DE PROPANO Amortización de la inversión en el décimo año.
	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Con subvención) FRENTE A CALDERA DE PROPANO Amortización de la inversión en el quinto año.
	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Sin subvención) FRENTE A CALDERA DE GAS NATURAL Amortización de la inversión en el duodécimo año.
	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (Con subvención) FRENTE A CALDERA DE GAS NATURAL Amortización de la inversión en el octavo año.

COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INSTALACIÓN GEOTÉRMICA



DATOS DE CÁLCULO PARA EL ESTUDIO DE EMISIONES DE CO_2			
Emisiones de CO_2 por kWh **eléctrico**	0,411 Kg	Emisiones de CO_2 por kWh de **propano**	0,3 Kg
Emisiones de CO_2 por kWh de **gasóleo C**	0,34 Kg	Emisiones de CO_2 por kWh de **GN**	0,29 Kg

VENTAJAS COMPETITIVAS

- ENERGÍA CONTÍNUA Y CONSTANTE

-Las 24 h del día, todos los días del año (a diferencia de la eólica o solar)

- ENERGÍA PARA TODO EL MUNDO

-Disponibilidad del recurso en cualquier parte del mundo

-Adaptable a cualquier climatología

- ENERGÍA LOCAL

-Se consume en el lugar de explotación, reduciendo la dependencia en la exportación de otras energías.

- COMPATIBLE

-Es compatible y complementaria con otras EERR.

VENTAJAS COMPETITIVAS

- COSTE MÍNIMO EN LA VIDA ÚTIL DE LA INSTALACIÓN

-Bajo coste de mantenimiento

-Larga vida útil de la instalación

-Bajo coste de operación

- IMPORTANTE AHORRO ENERGÉTICO

-Hasta un 70% en calefacción

-Hasta un 50% en refrigeración

- SISTEMA ECOLÓGICO

-Energía renovable

-No contamina

-Reduce emisiones de CO_2

"El intercambio geotérmico es la tecnología de climatización de edificios energéticamente más eficiente y menos contaminante".
EPA (1993)

VENTAJAS COMPETITIVAS

- CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN SIMULTÁNEA

-El mismo sistema proporciona Calefacción, Refrigeración y ACS

- SIN COMBUSTIÓN

-Se eliminan depósitos de Gas o Gas-Oil, evitando los problemas asociados.

- MONTAJE EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO

-Bajo nivel de ruido.

-Se eliminan torres de refrigeración, aeroventiladores, etc. (ventajas estéticas).

-Equipos compactos, requieren poco espacio.

-La vida útil de los equipos es mayor

- CIRCUITOS CERRADOS

-Se elimina el problema de Legionella.

INCONVENIENTES

- ELEVADOS COSTES INICIALES

-Debidos sobre todo al coste de la perforación

- LIMITACIÓN DE Tª DE USO

-Temperaturas de uso máximas de 55-65 ºC

-No se adapta bién a sistemas de distribución que requieran tª superiores (radiadores antiguos)

- AFECCIÓN DE TERRENO

-En sistemas horizontales se ocupa una gran cantidad de superficie, cuyo posterior uso queda limitado.

- AFECCIONES EN FASE DE OBRA

-Coordinación con otros “oficios”.

-Perforación: Ruidos, lodos, polvo, etc.