

© CIATESA 2008

## DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR ENTERRADOS. MODELO DE CÁLCULO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PARÁMETROS DE MAYOR RELEVANCIA

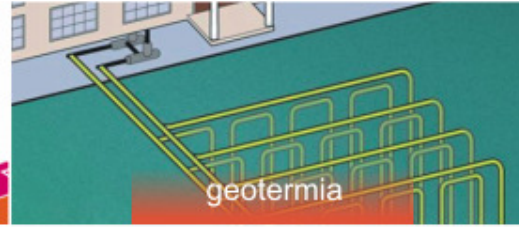
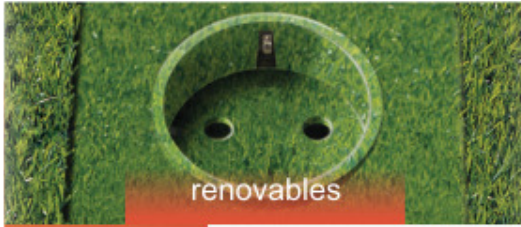
### ÍNDICE

- **I. CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS. MÉTODO IGSHPA**
- **II. EL PROGRAMA GEOCIATESA**
- **III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO**

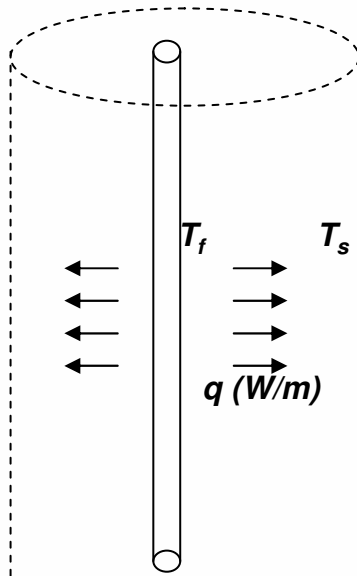


I CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

**CIATESA**  
— CIAT GROUP



## I. CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS. MÉTODO IGSHPA



International Ground Source Heat Pump Association

Teoría línea infinita (Kelvin 1861)

Fuente de calor de espesor muy pequeño y longitud infinita que sólo cede calor en sentido radial

$$q = \frac{T_f - T_s}{R_t + R_s}$$

$$\text{Longitud de intercambiador : } \Delta L = \frac{Q}{T_f - T_s} (R_t + R_s)$$

$$\text{Resistencia térmica tubería : } R_t = \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot k_t}$$

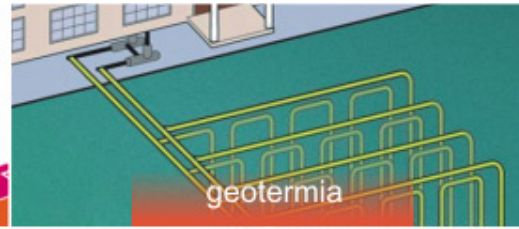
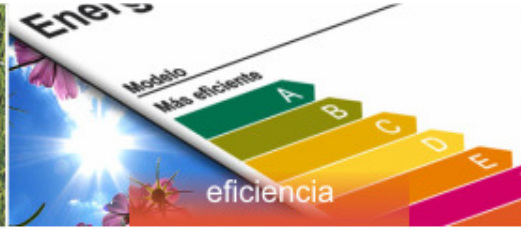
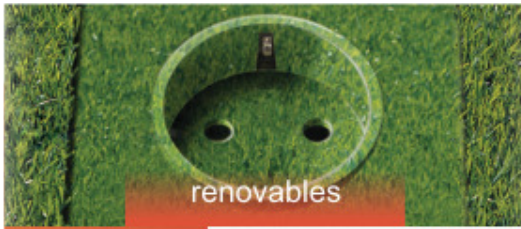
$$\text{Resistencia térmica suelo : } R_s = R_s(t, r, \alpha_s)$$

La resistencia del suelo,  $R_s$ , ha sido descrita por diversos autores, (Ingersoll & Plass 1948), (Ramey 1962)

El calor inyectado o extraído del terreno varía durante el funcionamiento de la bomba de calor. La resistencia térmica del suelo  $R_s$ , debe de contemplar este efecto. En la práctica es suficiente aproximación con multiplicar la potencia calorífica por el factor de utilización. Que es la fracción del tiempo en la que realmente la bomba de calor ha estado en marcha.

$$\text{Resistencia térmica suelo : } R_s^* = R_s \cdot Fu$$





© CIATESA 2008

## I. CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS. MÉTODO IGSHPA

El cálculo del factor de utilización  $F_u$  debe hacerse por [simulación de la demanda energética](#) en cada caso. Cada edificio en cada climatología, y con cada equipo de climatización, tendrá un factor de utilización.

La temperatura del terreno  $T_s$  a una profundidad y a un tiempo, es función de la temperatura exterior en ese instante (Kusada&Achenbach 1965):

$$T_s(y,t) = T_m - A \cdot e^{-y\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos\left[\frac{2\pi}{365}(t - t_0 - T_s \frac{y}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi \cdot \alpha}})\right]$$

$y$  = profundidad

$t$  = tiempo

$A$  = amplitud de la oscilación de la temperatura de la superficie

$T_m$  = temperatura media

$\alpha$  = difusividad

$t_0$  = tiempo con la temperatura media más baja en todo el año

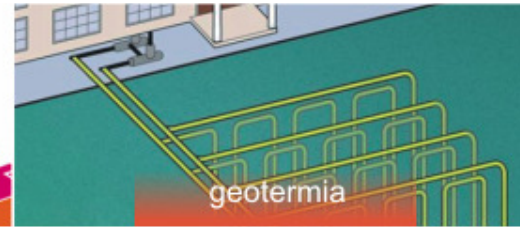
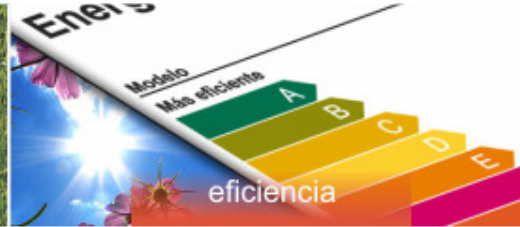
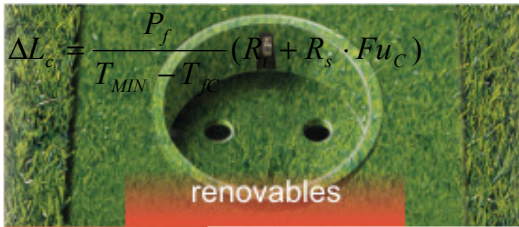
De la expresión anterior, se obtienen la mínima y la máxima temperatura que alcanza el terreno:

$$T_{MIN} = T_m - A e^{-y\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}}, \quad T_{MAX} = T_m + A e^{-y\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}}$$



I CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

**CIATESA**  
— CIAT GROUP



## I. CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS. MÉTODO IGSHPA

En el método IGSHPA se obtienen por separado las longitudes de intercambiador necesarias para satisfacer la máxima carga de calefacción en el instante de menor temperatura del terreno ( $T_{MIN}$ ) y la máxima carga de refrigeración en el instante de mayor temperatura del terreno ( $T_{MAX}$ ), seleccionándose la mayor de ellas.

En calefacción, la potencia intercambiada con el terreno es la potencia frigorífica de la bomba de calor ( $P_f$ ).

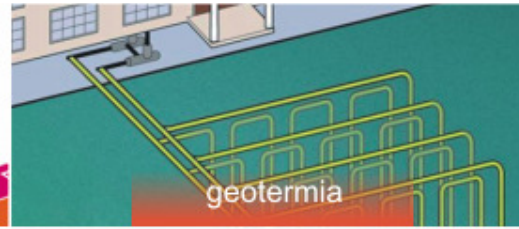
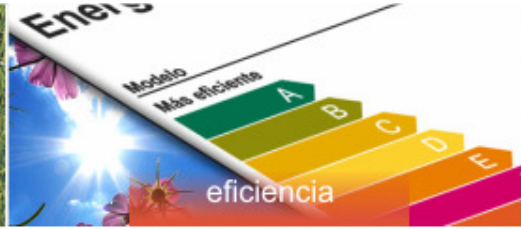
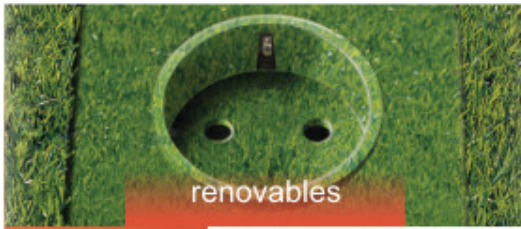
$$\Delta L_c = \frac{P_f}{T_{MIN} - T_{fC}} (R_t + R_s \cdot Fu_c)$$

Por el contrario, en refrigeración, la potencia intercambiada corresponde a la potencia calorífica disipada en el condensador de la máquina ( $P_c$ ).

$$\Delta L_R = \frac{P_c}{T_{fR} - T_{MAX}} (R_t + R_s \cdot Fu_R)$$







## II. EL PROGRAMA GEOCIATESA

Siguiendo el método descrito en el punto anterior, CIATESA ha desarrollado junto a la Universidad Politécnica de Valencia (Corberán & Urchueguía 2003) el programa GEO CIATESA.

© CIATESA 2008

The screenshot displays two windows of the Geo CIATESA software. The left window is the configuration screen, and the right window shows the results of a simulation.

**Configuration Window (Left):**

- Menu: Configuración | Materiales | Clima y Suelo | Pérdidas de Carga | Resultados
- Selecione un Tipo de Configuración: Horizontal 1
- Nº de Bucles: 1
- N: 2
- D: 0.5 m
- P: 0.7 m
- Diagram: A schematic showing two vertical boreholes (1 and 2) connected by a horizontal pipe (D) and a vertical pipe (P). The boreholes are numbered 1, 2, 3, ..., N.

**Results Window (Right):**

- Menu: Configuración | Materiales | Clima y Suelo | Pérdidas de Carga | Resultados
- Las temperaturas en la aplicación son:
  - Invierno/Calefacción: T. Caliente = 50 °C, T. Fría = 45 °C
  - Verano/Refrigeración: T. Caliente = 12 °C, T. Fría = 7 °C
- Buttons: Abrir, Guardar, Calcular, Ayuda (F1), Acerca de..., Salir
- Copy button: Copiar al portapapeles

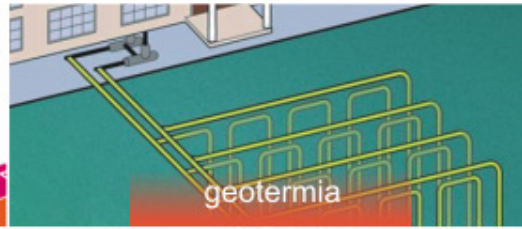
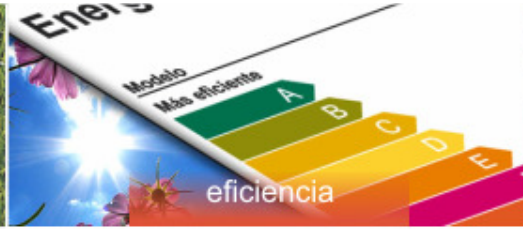
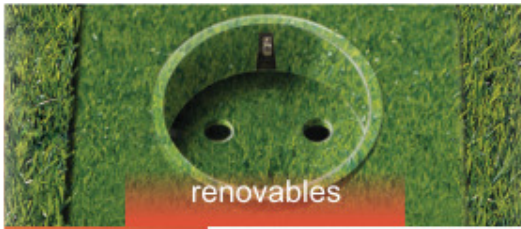
**Winter/Heating Results Table:**

T. Sal. (°C)	CDP	Longitud (m)	Área (m²)	Volumen (m³)	Pc (kW)	Pa (kW)	Caudal (m³/h)	Perd. (m.c.a.)
-4.0	2.66	666	11	5.888	37.3	14.0	7.59	7.17
-2.0	2.79	847	11	7.480	39.1	14.0	7.59	7.37
0.0	2.95	1142	11	10.086	41.3	14.0	7.59	7.72
2.0	3.11	1696	11	14.982	43.8	14.1	7.59	8.40
5.0	3.29	4979	11	43.989	46.4	14.1	7.25	11.46

**Summer/Refrigeration Results Table:**

T. Sal. (°C)	CDP	Longitud (m)	Área (m²)	Volumen (m³)	Pf (kW)	Pa (kW)	Caudal (m³/h)	Perd. (m.c.a.)
30.0	4.81	583	11	5.152	44.7	9.3	7.25	5.73
32.5	4.49	485	11	4.285	44.0	9.8	7.25	5.61
35.0	4.17	415	11	3.665	43.0	10.3	7.25	5.53
37.5	3.89	362	11	3.201	42.0	10.8	7.25	5.46
40.0	3.58	322	11	2.842	40.8	11.4	7.25	5.41
45.0	3.02	263	11	2.325	38.3	12.7	7.25	5.33
50.0	2.51	223	11	1.974	35.7	14.2	7.25	5.27





### III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO

#### INFLUENCIA DE LA DISTANCIA ENTRE BOREHOLES

Localidad: Madrid

Uso del edificio: Oficinas

Carga Calorífica Máxima: 30kW

Carga Frigorífica Máxima: 25kW

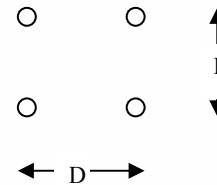
Equipo: IZE-120

Tipo de terreno: Granito

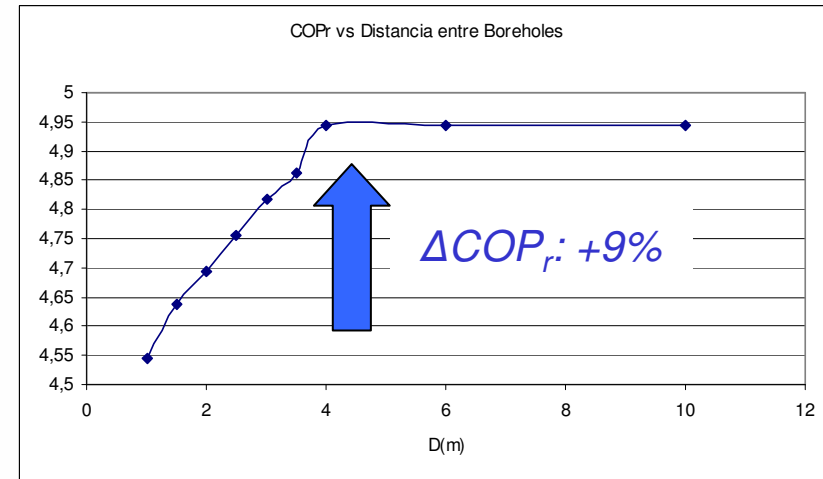
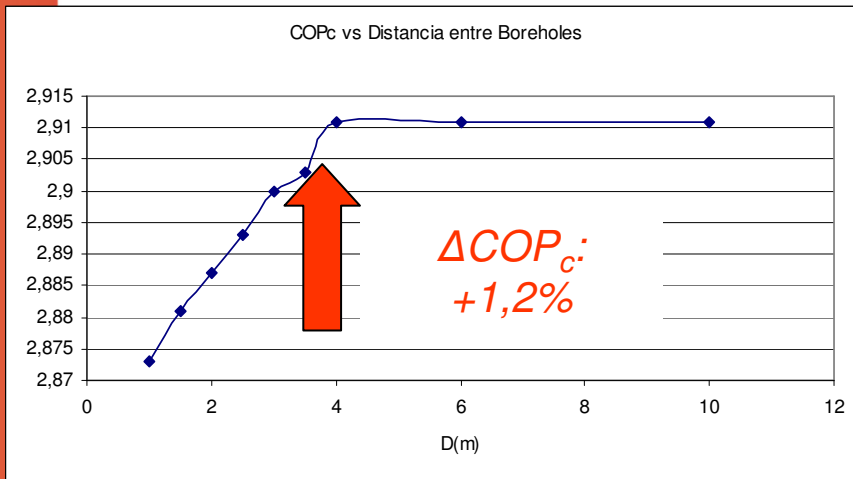
Tubo borehole: 1 1/4" PN50A 16bar

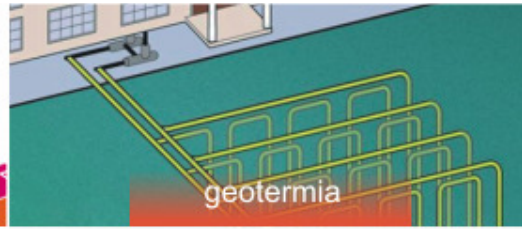
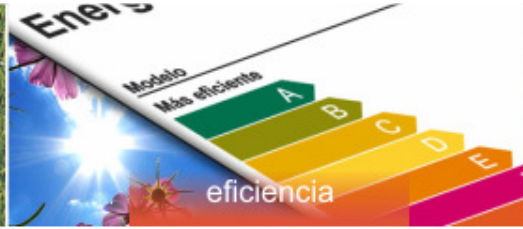
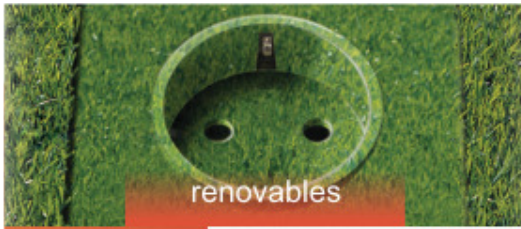
Tubo colector: 1 1/2" PN32 6 bar longitud 20 m

Longitud total: 800 metros. 4 pozos de 100 metros. Configuración 2x2



© CIATESA 2008

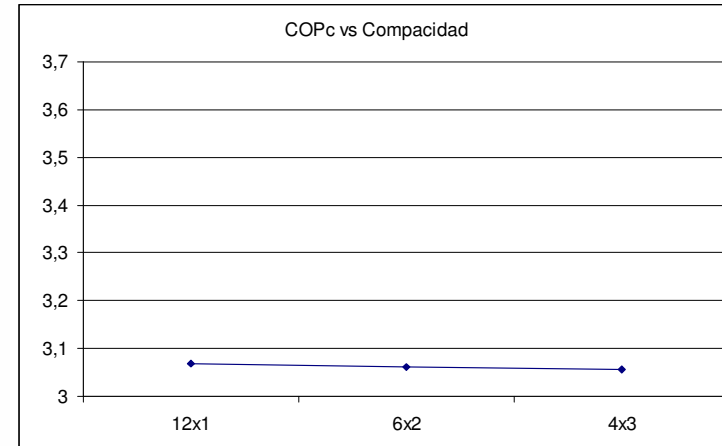




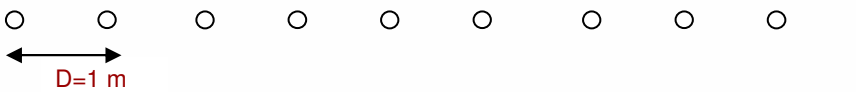
### III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO

#### INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN (TOPOLOGÍA DEL INTERCAMBIADOR)

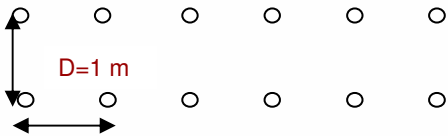
Localidad: Málaga  
 Uso del edificio: Oficinas  
 Carga Calorífica Máxima: 20kW  
 Carga Frigorífica Máxima: 25kW  
 Equipo: IZE-120  
 Tipo de terreno: Calizas en forma de margas  
 Tubo borehole: 1 1/4" PN50A 16bar  
 Tubo colector: 1 1/4" PN32 6 bar longitud 20 m  
 Longitud total: 960 metros. 12 pozos de 40 metros separados 1 metro



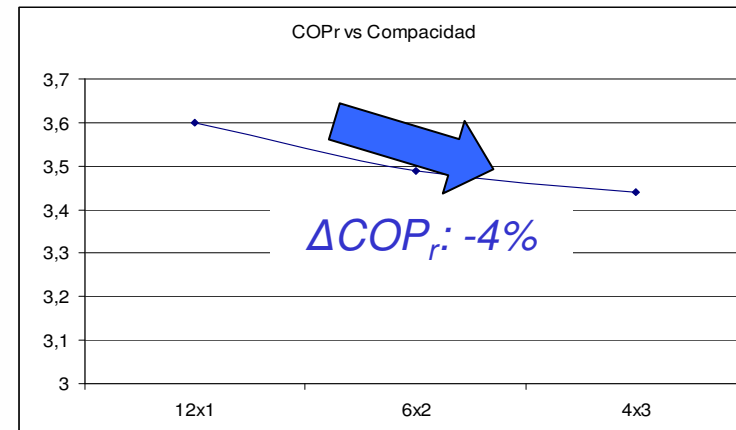
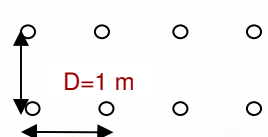
Caso 12x1



Caso 6x2

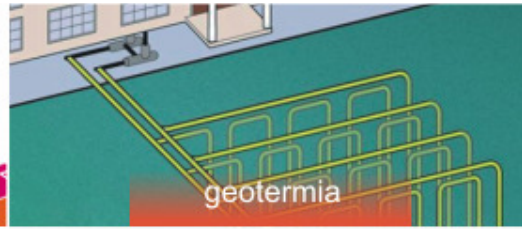
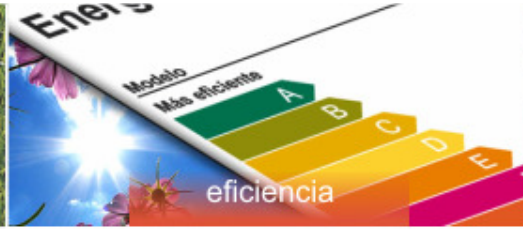
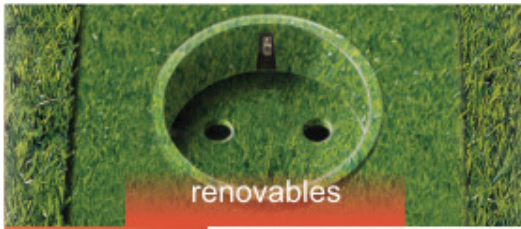


Caso 4x3



© CIATESA 2008





### III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO

#### SENSIBILIDAD A LA LONGITUD

Localidad: Málaga

Uso del edificio: Oficinas

Carga Calorífica Máxima: 20kW

Carga Frigorífica Máxima: 25kW

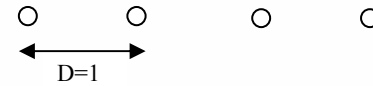
Equipo: IZE-120

Tipo de terreno: Calizas en forma de margas

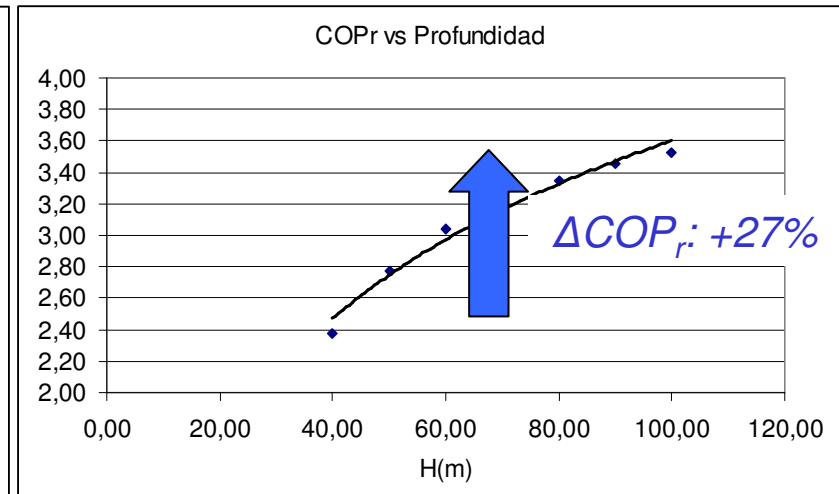
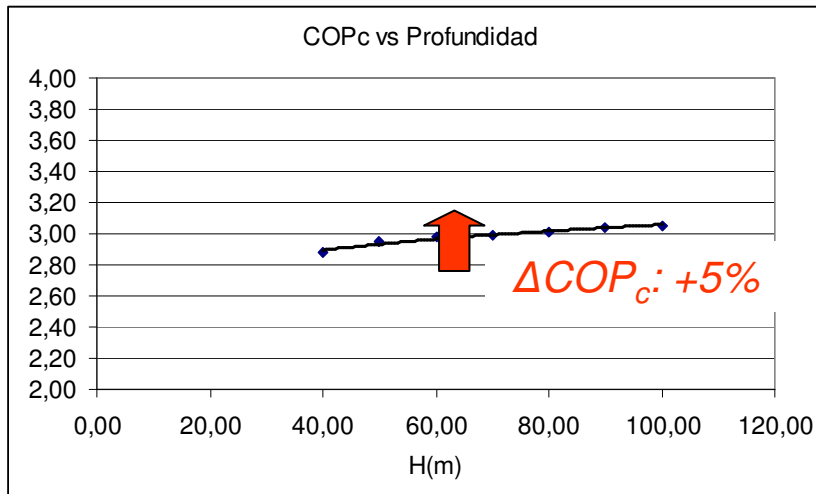
Tubo borehole: 1 1/4" PN50A 16bar

Tubo colector: 1 1/4" PN32 6 bar longitud 20 m

4 pozos separados 1 metro en configuración 4x1



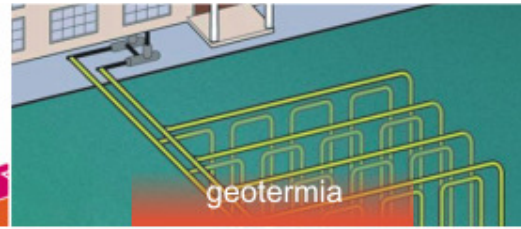
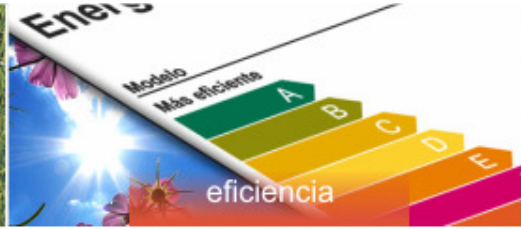
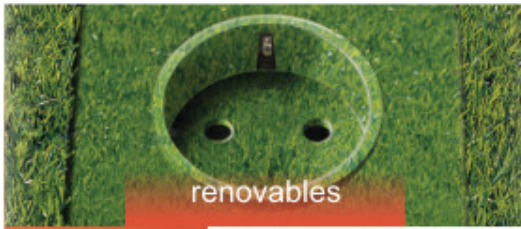
© CIATESA 2008



I CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

**CIATESA**  
CIAT GROUP

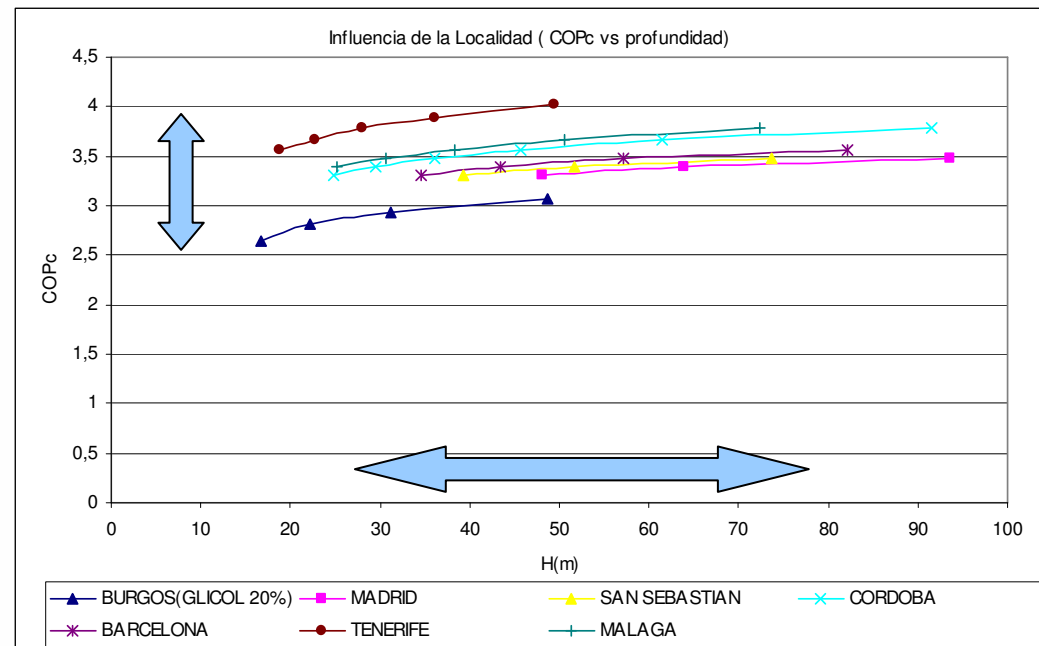
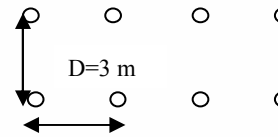




### III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO

#### EFFECTO DE LA CLIMATOLOGÍA

Localidad: Varias  
 Uso del edificio: Hotel  
 Carga Calorífica Máxima: 30kW  
 Carga Frigorífica Máxima: 30kW  
 Equipo: IZE-160  
 Tipo de terreno: Granito  
 Tubo borehole: 1 1/4" PN50A 16bar  
 Tubo colector: 1 1/4" PN32 6 bar longitud 20 m  
 8 pozos separados 3 metros en configuración 4x2

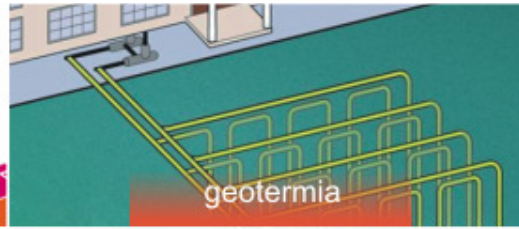
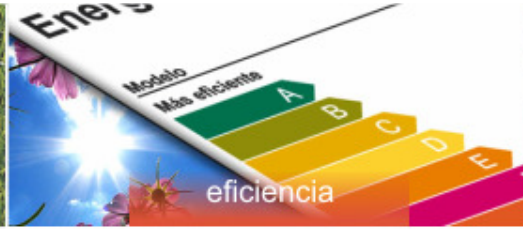
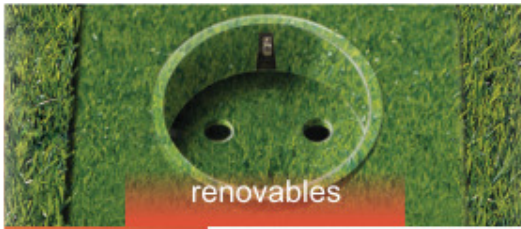


© CIATESA 2008



I CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA





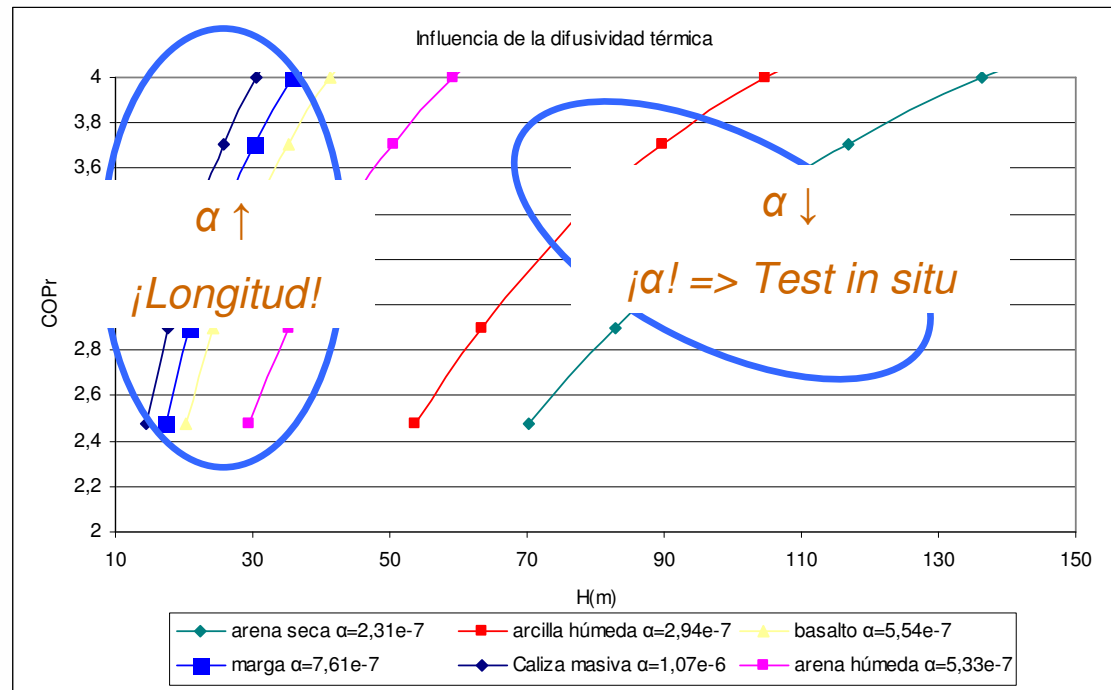
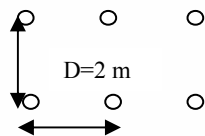
### III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO

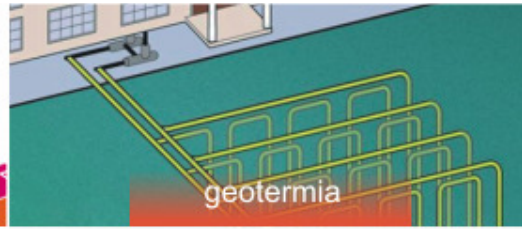
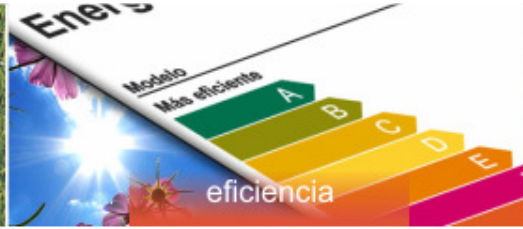
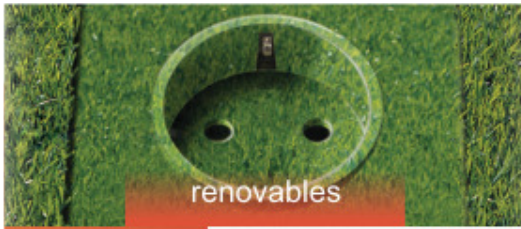
#### SENSIBILIDAD AL MATERIAL DEL TERRENO

En el método IGSHPA, el parámetro que recoge la influencia del terreno es la difusividad térmica  $\alpha = k / (\rho \cdot C_p)$  [m<sup>2</sup>/s] obtenida como el cociente entre la conductividad y la capacidad térmica. Terrenos con la misma difusividad térmica presentarán igual comportamiento.

Localidad: Madrid  
 Uso del edificio: Colegio  
 Carga Calorífica Máxima: 30kW  
 Carga Frigorífica Máxima: 30kW  
 Equipo: IZE-160  
 Tipo de terreno: Varios  
 Tubo borehole: 1 1/4" PN50A 16bar  
 Tubo colector: 1 1/4" PN32 6 bar longitud 20 m  
 6 pozos separados 2 metros en 3x2

© CIATESA 2008





© CIATESA 2008

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



I CONGRESO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

**CIATESA**  
— CIAT GROUP