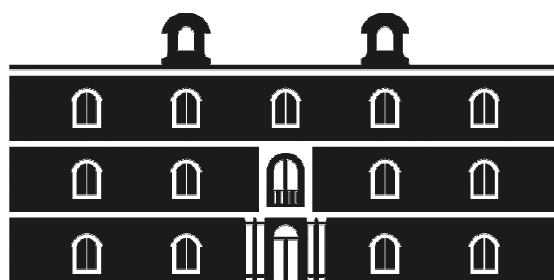




Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Titulación: Máster en Energías Renovables

Alumna: Adela Ramos Escudero

Directoras: Socorro García Cascales

Nieves Espinosa Martínez

Cartagena, 28 de septiembre de 2011

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Índice del Proyecto Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.	1
1. Objetivo del proyecto.....	10
2. Panorama Energético de Europa y España	11
2.1. Escenario Europeo de las EERR para el 2020	11
2.2. Previsión de Cobertura del Consumo Final Bruto de Energía en España con EERR en 2020	12
2.3. Escenario de la Energía Geotérmica Somera para el año 2020	13
3. Qué es geotermia y cómo la utilizamos	16
3.1. Definición y origen de la Geotermia	16
3.2. Clasificación y aplicaciones de la Energía Geotérmica.....	17
3.3. Energía geotérmica de muy baja entalpía.....	19
3.4. Partes de una instalación geotérmica	21
3.4.1. Sistemas de captación. Intercambiador enterrado.....	21
3.4.2. La bomba de calor geotérmica.....	24
4. Normativa de aplicación.....	29
5. ¿Por qué invertir en una instalación geotérmica?	30
6. Retos e Investigación en el Sector de la Geotermia Somera	32
7. Metodología desarrollada	33
7.1. Resumen de la Metodología	33
7.2. Herramientas utilizadas	37
8. Estimación del potencial geotérmico de la Región de Murcia.....	38
8.1. Recopilación y selección de base de datos de litología en la Región de Murcia	38
8.2. Valoración de la presencia de agua en la roca.....	40
8.3. Clasificación de los terrenos en función de su capacidad de extracción de calor.	47
9. Marco Energético – Económico	59
9.1. Demanda Energética	59
9.1.1 Cálculo de las demandas energéticas de referencia por municipio.....	60
9.1.2. Cálculo de la demanda de referencia energética de las viviendas por clase de calificación energética.....	65
9.1.3. Características de las viviendas de la Región de Murcia	70
9.1.4. Escenario del parque de viviendas de la Región de Murcia en cuanto a la calificación energética.....	73
9.1.5. Demanda energética anual media para cada municipio.....	75

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

9.2.	Potencia de la bomba a instalar	78
9.3.	Cálculo de la longitud del Intercambiador	85
9.4.	Cálculo del Coste de la Instalación	94
9.5.	Retorno de la inversión para una instalación geotérmica individual.....	101
9.6.	Beneficios financieros para el presupuesto regional	108
9.7.	Indicador para emprendedores: tamaño de mercado y atractivo del producto	111
10.	Conclusiones.....	116
11.	Bibliografía	120

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Indice de Figuras

- Figura 1 Estructura interna de la Tierra. 16
- Figura 2. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura. (Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)..... 18
- Figura 3. Diferentes tipos de energía geotérmica. (Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)..... 18
- Figura 4. Temperatura del subsuelo a diferentes profundidades..... 19
- Figura 5. Variación de las temperaturas en aire y suelo en Valencia (fuente: Técnicas Energéticas Avanzadas. J. Urchueguia) 20
- Figura 6. La instalación geotérmica en verano e invierno. 21
- Figura 7. Esquema para calefacción de una casa familiar utilizando sondeos de captación de agua en la capa freática. (Fuente: Cattin, S. Infos- Géothermie nº 4. Suisse énergie. 2002) 22
- Figura 8. Sistemas de captación horizontal..... 23
- Figura 9. Sonda geotérmica vertical. (Fuente: Haga Gerodur /CHYN. Géothermie. L'Utilisation de la chaleur terrestre. Suisse énergie). 23
- Figura 10. Esquema del proyecto del Instituto Tecnológico de la Universidad de Ontario en Oshawa (Canadá) sobre un campo de sondas geotérmicas (Fuente: @Geoexchange)..... 24
- Figura 11. Esquema básico de una bomba de calor Aire-Agua..... 24
- Figura 12. Esquema de una bomba de calor geotérmico 25
- Figura 13. Eficiencia energética de la instalación geotérmica. 26
- Figura 14 Diagrama de Entalpía VS Presión para una bomba de calor convencional y una bomba geotérmica (dcha.)..... 27
- Figura 15 Emisiones de CO2 de distintas instalaciones 31
- Figura 16 Resumen de la metodología..... 33
- Figura 17 Mapa Municipios de la Región de Murcia..... 36
- Figura 18 Mapa Litológico de la Región de Murcia..... 39
- Figura 19 Mapa GIS Redes de Control de Piezómetros..... 40
- Figura 20 Mapa GIS Malla de Profundidad media de los Acuíferos..... 46
- Figura 21 Perfil longitudinal tipo del subsuelo..... 54
- Figura 22 Mapa GIS Calor de Extracción de la Región de Murcia 55
- Figura 23 Mapa GIS Calor Extracción medio por Municipios..... 57
- Figura 24 Zonas climáticas según CTE..... 61
- Figura 25 Ancho de las bandas de las clases energéticas en viviendas españolas de nueva construcción 73
- Figura 26 Mapa GIS Demanda de calefacción por municipio 77
- Figura 27 Mapa GIS Demanda de Refrigeración por municipio..... 77
- Figura 28. Mapa de GIS Potencia de la bomba geotérmica por municipios 84
- Figura 29 Variación estacional de la Temperatura Superficial del terreno..... 85
- Figura 30 Variación de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad a lo largo de un año 86
- Figura 31 Mapa GIS Profundidad del intercambiador. 90

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

- Figura 32 Mapa GIS Clasificación de la región según dureza de la roca 95
- Figura 33 Mapa GIS Coste de la perforación por municipios según dureza de la roca.. 96
- Figura 34 Mapa GIS Precio de la Instalación geotérmica..... 99
- Figura 35 Mapa GIS Período de Retorno de la instalación geotérmica 107
- Figura 36 Mapa GIS Indicador coste instalación entre emisiones de CO₂ 110
- Figura 37 Mapa GIS Tamaño de mercado 113
- Figura 38 Mapa GIS Indicador Atractivo de Mercado 115

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Índice de Tablas

- Tabla 1 Consumo de energía final por fuentes 11
- Tabla 2 Consumo de energía final por Sectores..... 12
- Tabla 3 Objetivos de la UE en el consumo de EERR como energía final 12
- Tabla 4 Perspectivas del consumo de las EERR y energía final en España..... 12
- Tabla 5 Contribución total de la BCG a los objetivos de 2020 (Fuente PER 2011-2020)15
- Tabla 6 Niveles medios de los Acuíferos de la Región de Murcia 45
- Tabla 7 Calor extraíble de las rocas según norma alemana VDI4640 parte 2..... 48
- Tabla 8 Grupos de litologías establecidas para Murcia en función de las características térmicas de las rocas 48
- Tabla 9 Valores de extracción de calor por cada tipo de litología presente en la Región de Murcia 53
- Tabla 10 Zonas climáticas según CTE 61
- Tabla 11 Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción de referencia, a partir de la SCI 62
- Tabla 12 Coeficientes de correlación para la demanda de refrigeración de referencia a partir de la SCV 62
- Tabla 13 Demandas de calefacción y refrigeración de referencia para las capitales de los municipios..... 63
- Tabla 14 Numero medio de personas que habitan en una vivienda por municipios 65
- Tabla 15 Demanda energética para ACS de la vivienda tipo de la región..... 65
- Tabla 16 Índices de eficiencia energética para viviendas 66
- Tabla 17 Dispersión del indicador de eficiencia energética para la demanda de calefacción..... 66
- Tabla 18 Dispersión del indicador de eficiencia energética para la demanda de refrigeración..... 66
- Tabla 19 Valores de los Índices de Dispersión energética IEE 67
- Tabla 20 Demandas energéticas de calefacción y refrigeración por calificación energética de la vivienda y por municipio 69
- Tabla 21 Numero de viviendas existentes y nuevas por municipio 71
- Tabla 22 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes para cada clase energética 74
- Tabla 23 Demandas energéticas medias por municipio 76
- Tabla 24 Demandas energéticas de calefacción y ACS máxima de un día de enero por zona climática..... 81
- Tabla 25 Potencia de la bomba geotérmica a instalar por municipio..... 83
- Tabla 26 SAT, GST, Profundidad del intercambiador y Profundidad corregida por GST. 89
- Tabla 27 Coste de la instalación geotérmica..... 99
- Tabla 28 Coste del kWh geotérmico 102
- Tabla 29 Período de Retorno de la inversión de la instalación geotérmica..... 106
- Tabla 30 Indicador financiero de invertir en geotermia 109
- Tabla 31 Tamaño de Mercado 112

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

- Tabla 32 Indicador Atractivo de Mercado..... 115

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Índice de Gráficos

- Gráfico 1 Intensidad Energética en España 2005 - 2020..... 11
- Gráfico 2 Participación de las Renovables en el consumo final de energía..... 13
- Gráfico 3 Escenario europeo de Energía Geotérmica de uso directo. Fuente IDAE..... 14
- Gráfico 5 Crecimiento de las aplicaciones térmicas con geotermia en España (Fuente PER 2011-2020) 14
- Gráfico 5 Histograma Niveles medios de los piezómetros 47
- Gráfico 6 Histograma de los valores de calor extraíble 56
- Gráfico 7 Calor específico extraíble medio por municipios 58
- Gráfico 8 Esquema de la metodología Cálculo de la Demanda Energética por Municipio 60
- Gráfico 9 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes por municipio 72
- Gráfico 10 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes por clase de calificación energética 74
- Gráfico 11 Perfil de demanda energética para la zona climática B3 79
- Gráfico 12 Perfil de demanda energética para la zona climática C2 79
- Gráfico 13 Perfil de demanda energética para la zona climática C1 80
- Gráfico 14 Perfil de demanda energética para la zona climática D1 80
- Gráfico 15 Factor de corrección de la profundidad del intercambiador frente a GST .. 87
- Gráfico 16 Profundidad del intercambiadorgeotérmico por municipio 92
- Gráfico 17 Coste del kWh geotérmico y convencional 103

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

1. Objetivo del proyecto

La calefacción, refrigeración y suministro de ACS representan el 68% del consumo energético de una vivienda, que corresponde a un total del 30% del consumo de energía del país¹.

Por otro lado, la energía geotérmica de Muy Baja Temperatura ha ganado atención como fuente de energía renovable para climatización de viviendas y representa una creciente oportunidad de inversión.

Pero, aunque la acumulación del calor en el subsuelo ocurre de forma natural, la consideración crucial es cuánto de ese potencial puede ser explotado económicamente y de forma práctica para calefacción y refrigeración².

Aunque ya se realizan evaluaciones del potencial geotérmico y de su explotabilidad para una instalación individual por medio de los denominados TRT (Test de respuesta térmica), no hay una guía establecida para estimar este recurso para grandes superficies.

Por tanto, el objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster (TFM) es el de crear un modelo que reduzca la distancia entre el conocimiento físico del terreno/ambiente y el análisis económico a escala regional, creando para ello una metodología que puede ser aplicable a cualquier tipo de proyectos de explotación geotérmica.

La metodología utilizada para conseguir este objetivo se ha estructurado en dos partes:

- **Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de toda la Región de Murcia** por medio de un sistema de Información Geográfico denominado ArcMap. La evaluación se ha realizado por municipios, y por tanto, las conclusiones obtenidas también.
- **Establecimiento de un marco Energético-Económico en la Región** enfocado a la energía geotérmica de muy baja entalpía, para el que ha sido necesario la obtención de los siguientes puntos:
 - a. Cálculo de la demanda energética de las viviendas de la Región.
 - b. Cálculo de la potencia de la Bomba de Calor Geotérmica (BCG) necesaria para cubrir la demanda de frío y calor por medio de intercambiadores verticales.
 - c. Coste de la instalación geotérmica
 - d. Período de Retorno de la Instalación geotérmica
 - e. Atractivo financiero de invertir en energía geotérmica
 - f. Tamaño de mercado de las instalaciones geotérmicas para climatización en la Región de Murcia.
 - g. Atractivo del producto para emprendedores.

2. Panorama Energético de Europa y España

2.1. Escenario Europeo de las EERR para el 2020

El escenario energético europeo para el año 2020 queda reflejado en 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. Para ello se han tomado en cuenta los siguientes escenarios:

- Escenario económico: crecimiento positivo del PIB para el año 2011 (del 1,8%) y crecimientos posteriores del 2,7% anual hasta el año 2020.
- Escenario de población: frente a los fuertes crecimientos experimentados a lo largo de la presente década, fruto de los movimientos migratorios, se espera un crecimiento mucho más suave en los próximos años, para pasar desde algo menos de 46 millones de habitantes en 2009, a 47 millones de habitantes en 2020.
- Escenario de eficiencia: se prevé disminuciones de la intensidad energética final del 2% anual, y disminuciones de la intensidad eléctrica —relación entre el consumo final de electricidad y el PIB— del 0,6% anual³.

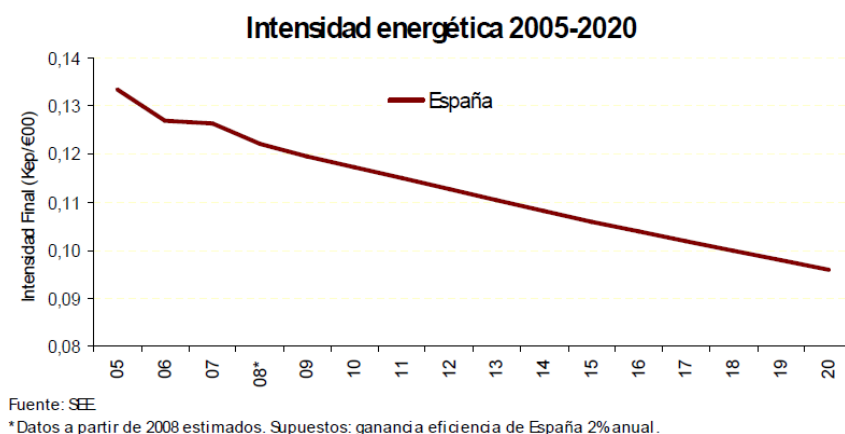


Gráfico 1 Intensidad Energética en España 2005 - 2020

De acuerdo con este escenario, en la Tabla 1 y la Tabla 2 se recoge la evolución prevista del consumo de energía final, por sectores y por fuentes.

ktep	2008	2012	2016	2020
Carbón	2.080	2.180	2.171	2.162
Prod. Petrolíferos	52.898	45.096	42.864	40.572
Gas natural	17.133	15.161	16.336	17.602
Electricidad	22.211	21.787	23.661	25.696
Energías Renovables	4.235	6.028	7.526	9.118
Total usos energéticos	98.556	90.251	92.558	95.151
Usos no energéticos	6.891	6.595	6.815	6.815
Total usos finales	105.447	96.846	99.373	101.966

Tabla 1 Consumo de energía final por fuentes

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

ktep	2008	2012	2016	2020
Industria	30.169	27.559	26.696	28.190
Transporte	39.320	37.819	41.737	42.787
Residencial, servicios y otros	29.066	24.873	24.125	24.174
Total usos energéticos	98.555	90.251	92.558	95.151
Usos no energéticos:	6.891	6.595	6.815	6.815
Total usos finales	105.446	96.846	99.373	101.966

Tabla 2 Consumo de energía final por Sectores

2.2. Previsión de Cobertura del Consumo Final Bruto de Energía en España con EERR en 2020

De acuerdo con una primera estimación sobre la evolución previsible de las energías renovables en España hasta el año 2020 realizada para la redacción de la mencionada Directiva, la aportación de las energías renovables al consumo final bruto de energía pasa del 10,5% en 2008, al 22,7% en el año 2020, frente a un objetivo para España del 20% en 2020.

País	2005	2020	País	2005	2020
Bélgica	2,20%	13%	Luxemburgo	0,90%	11%
Bulgaria	9,40%	16%	Hungría	4,30%	13%
Rep. Checa	6,10%	13%	Malta	0,00%	10%
Dinamarca	17,00%	30%	Países Bajos	2,40%	14%
Alemania	5,80%	18%	Austria	23,30%	34%
Estonia	18,00%	25%	Polonia	7,20%	15%
Irlanda	3,10%	16%	Portugal	20,50%	31%
Grecia	6,90%	18%	Rumanía	17,80%	24%
España	8,70%	20%	Eslovenia	16,00%	25%
Francia	10,30%	23%	Eslovaquia	6,70%	14%
Italia	5,20%	17%	Finlandia	28,50%	38%
Chipre	2,90%	13%	Suecia	39,80%	49%
Letonia	32,60%	40%	Reino Unido	1,30%	15%
Lituania	15,00%	23%	UE-27	8,4%	20%

Tabla 3 Objetivos de la UE en el consumo de EERR como energía final

De la Tabla 3 se destaca la aportación de Suecia a la energía final con las renovables que espera llegará hasta el 49%. Cabe recordar que en Suecia el 90% de las viviendas de nueva construcción hacen uso de la energía geotérmica mediante bomba de calor para climatización.

Como estimación intermedia, se prevé que en el año 2012 la participación de las energías renovables sea del 15,5% (frente al valor orientativo previsto en la trayectoria indicativa del 11,0%) y en 2016 del 18,8% (frente a al 13,8% previsto en la trayectoria).

CONSUMO FINAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (en ktep)	2008	2012	2016	2020
Energías renovables para generación eléctrica	5.342	8.477	10.682	13.495
Energías renovables para calefacción/refrigeración	3.633	3.955	4.740	5.618
Energías renovables en transporte	601	2.073	2.786	3.500
Total en Renovables en ktep	9.576	14.504	18.208	22.613
Total en Renovables según Directiva	10.687	14.505	17.983	22.382

Tabla 4 Perspectivas del consumo de las EERR y energía final en España

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

El escenario descrito incluye una contribución de las energías renovables a la generación bruta de electricidad del 42,3% en el año 2020. El sistema eléctrico español ha hecho en los últimos años un gran esfuerzo para la integración adecuada de la electricidad renovable en la red eléctrica. Teniendo en cuenta que alrededor de dos tercios de la generación eléctrica renovable en 2020 será de carácter no gestionable, para alcanzar esta cuota de electricidad de origen renovable resulta imprescindible aumentar la capacidad de dos elementos básicos: el bombeo y las interconexiones con el sistema eléctrico europeo por encima de lo actualmente previsto.

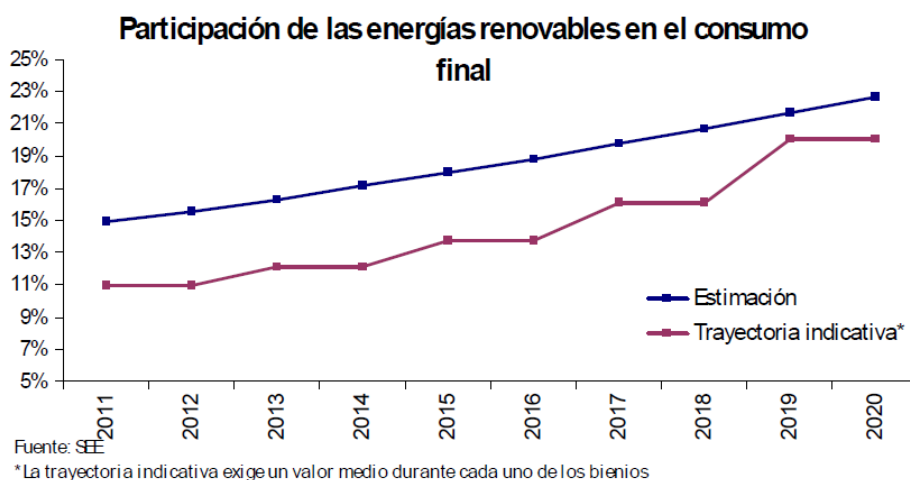


Gráfico 2 Participación de las Renovables en el consumo final de energía

2.3. Escenario de la Energía Geotérmica Somera para el año 2020

En la Directiva 2009/28/CE, la UE estableció un objetivo por el que el consumo total de la energía final en España, el 20% deberá provenir de la EERR. Para ello, es necesario contar con todas las energías, avanzando en las más consolidadas y desarrollando otra nueva, como la geotermia.

La potencia instalada de geotermia somera en Europa se refleja en el Gráfico 3. Según los datos publicados en el nuevo Plan Nacional de las Energías Renovables (PER 2011-2020)⁴, la potencia total instalada estimada en España de bombas de calor geotérmico en el año 2011 es de 150 MWt. Esta cifra es imposible de cuadrar con la realidad, debido a que no existe un registro para la instalación de este tipo de bombas. Tampoco existe un registro del aprovechamiento geotérmico de suelos para sector residencial, hecho que va en detrimento de una buena planificación para el desarrollo de este tipo de energía.

A pesar de ello, su aparición en el PER 2011-2020 por primera vez calificada de energía renovable, constituye una de las medidas para fomentarla y un hito claro para la geotermia.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

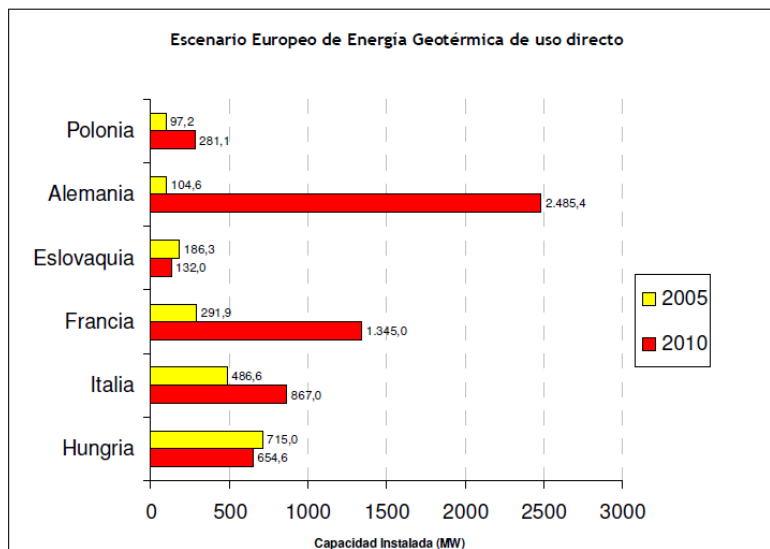


Gráfico 3 Escenario europeo de Energía Geotérmica de uso directo. Fuente IDAE.

En España Existe un mercado emergente de aplicación de la geotermia somera o de muy baja temperatura para climatización y ACS mediante bomba de calor. En estos últimos años, se ha producido un incremento notable en instalaciones geotérmicas con bomba de calor con un crecimiento superior al 30%, por lo que las previsiones futuras es que se establezca la tendencia actual y durante los primeros 5 años este sector evolucione con una tasa de crecimiento de aproximadamente el 15% y a partir del 2015, una vez consolidado el mercado, se mantenga en tasas del 10-12%⁴.

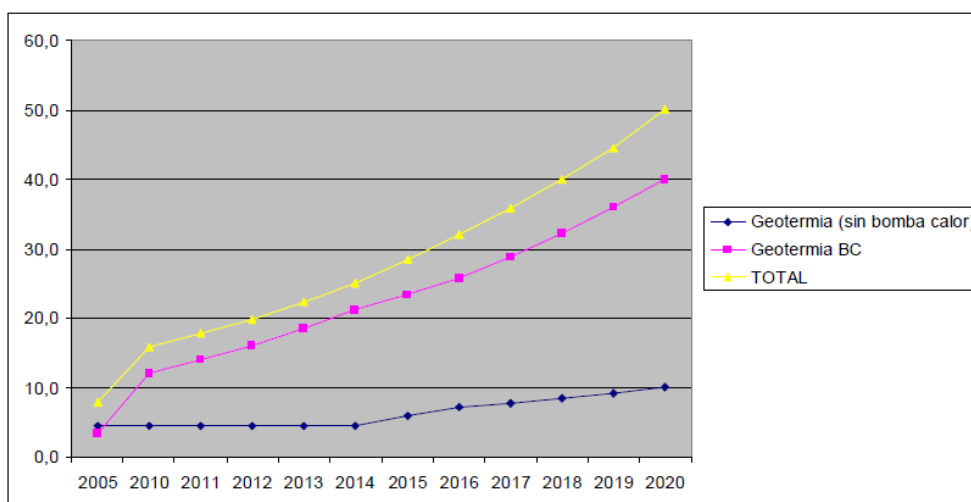


Gráfico 4 Crecimiento de las aplicaciones térmicas con geotermia en España (Fuente PER 2011-2020)

En la Tabla 5 se observan los datos para la Estimación de la contribución total (consumo final de energía) previsible de cada tecnología de energía renovable en España al cumplimiento de los objetivos vinculantes para 2020 y trayectoria indicativa correspondiente a las cuotas de energía procedente de recursos renovables en el sector de la calefacción y refrigeración 2010-2020 (ktep).

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energía geotérmica (excluyendo el calor geotérmico de temperatura baja en aplicaciones de bomba de calor)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	5,2	6,4	7,1	7,9	8,6	9,5
Energía solar	61	159	171	198	229	266	308	356	413	479	555	644
Biomasa:	3.477	3.583	3.617	3.655	3.751	3.884	4.060	4.255	4.469	4.661	4.868	4.950
<i>sólida</i>	3.441	3.550	3.578	3.610	3.700	3.827	3.997	4.185	4.392	4.576	4.776	4.850
<i>biogás</i>	36	33	39	45	51	57	63	70	77	85	92	100
<i>biolíquidos (32)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía renovable a partir de bombas de calor:	7,6	17,4	19,7	22,2	24,9	28,1	30,8	33,6	37,2	41,2	45,8	50,8
- de la cual aerotérmica	4,1	5,4	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,9	8,4	9,0	9,7	10,3
- de la cual geotérmica	3,5	12,0	14,0	16,1	18,5	21,2	23,4	25,7	28,8	32,2	36,1	40,5
- de la cual hidrotérmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3.550	3.764	3.811	3.879	4.009	4.181	4.404	4.651	4.926	5.189	5.477	5.654
<i>De la cual calefacción urbana (33)</i>	1,4	3,4	4,4	5,8	8,5	11,3	15,4	20,0	24,0	29,0	33,7	38,6
<i>De la cual biomasa en los hogares (34)</i>	2.029	2.055	2.060	2.061	2.064	2.064	2.068	2.073	2.088	2.100	2.116	2.117

Tabla 5 Contribución total de la BCG a los objetivos de 2020 (Fuente PER 2011-2020)

3. Qué es geotermia y cómo la utilizamos

3.1. Definición y origen de la Geotermia

Energía Geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra⁵.

La energía que llega cada segundo a la superficie de la Tierra, desde su interior, en forma de calor es de 4.2×10^{13} J. Aunque la energía que recibimos del Sol es cuatro órdenes de magnitud superior a la geotérmica (2×10^{17} J), aquella solo penetra algunas decenas de centímetros bajo la superficie de la Tierra. Desde un punto de vista únicamente energético, el calor que nos llega del Sol sirve para mantener las superficies del planeta a una temperatura promedio (alrededor de 15 °C) y es irradiada de nuevo al espacio, de manera que no interviene en los procesos energéticos que afectan al interior de la Tierra.

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

- Desintegración de isotopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto, principalmente, uranio 235, uranio 238, torio 282 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.

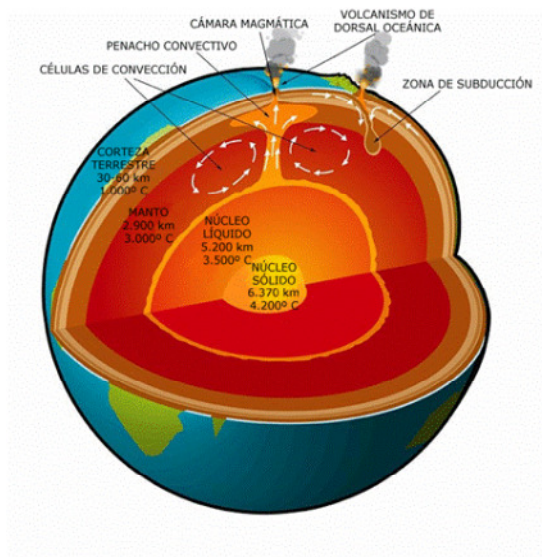


Figura 1 Estructura interna de la Tierra.

El resultado de la estructura interna de La Tierra que se aprecia en la Figura 1, 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.

3.2. Clasificación y aplicaciones de la Energía Geotérmica

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía.

“Entalpía es la cantidad de energía térmica que un fluido, o un objeto, puede intercambiar con su entorno”.

Como no existen aparatos que determinen directamente la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero sí existen sondas térmicas que miden la temperatura, y como la entalpía y la temperatura pueden considerarse, más o menos, proporcionales, la práctica habitual ha generalizado el empleo de las temperaturas de los fluidos geotermales en lugar de sus contenidos en calor, pues, al fin y al cabo, son las temperaturas las que determinan su futura aplicación industrial.

En la Figura 2 se muestran las aplicaciones más importantes de la energía geotérmica con los rangos de temperatura de utilización, y en su parte inferior se establece una agrupación de la energía geotérmica, entre diferentes intervalos de temperatura, en cuatro grandes tipos: muy baja, baja, media y alta temperatura.

1. Alta temperatura: más de 150 °C. Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
2. Media temperatura: entre 90 y 150 °C. Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
3. Baja temperatura: entre 30 y 90 °C. Su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.
4. Muy baja temperatura: menos de 30 °C. Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

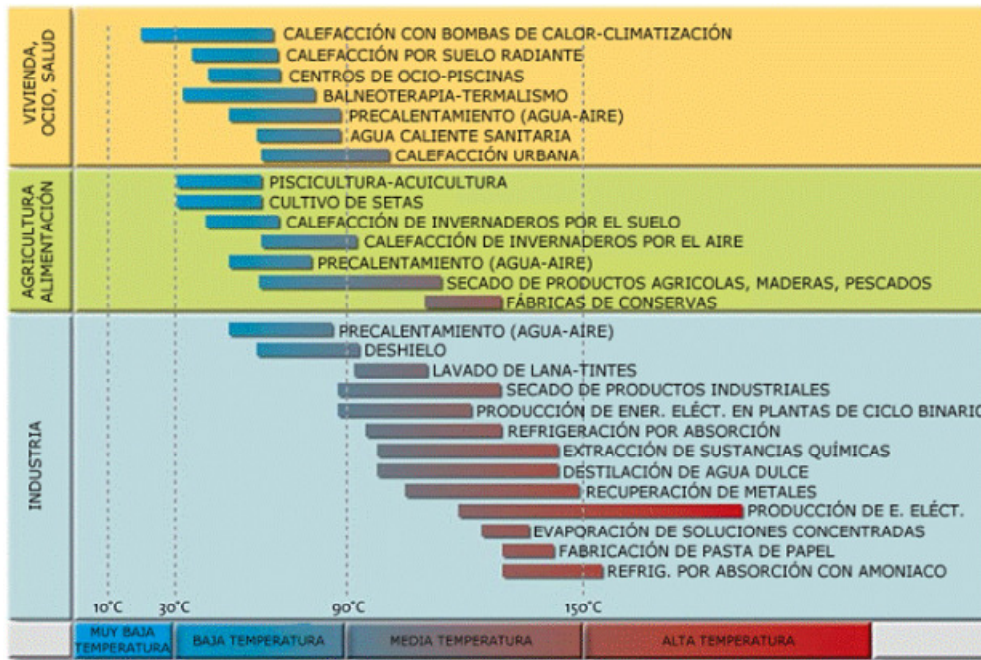


Figura 2. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura. (Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM).

La diferencia entre energía geotérmica somera o superficial y energía geotérmica profunda se suele establecer, arbitrariamente, en una profundidad de 400 m por debajo de la superficie. Los recursos geotérmicos de muy baja temperatura se enmarcan en el primero los dos dominios.⁶

Dicho esto, sirva a modo de ejemplo la Figura 3 para dar una idea de las profundidades de extracción del calor que corresponden a cada tipo de energía clasificada.

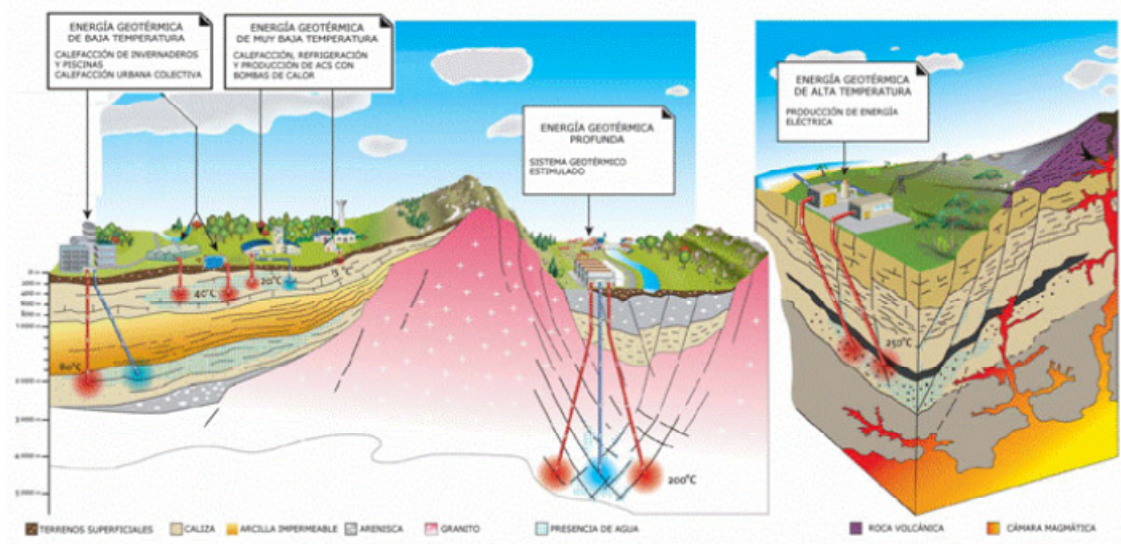


Figura 3. Diferentes tipos de energía geotérmica. (Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM).

3.3. Energía geotérmica de muy baja entalpía

La energía geotérmica de muy baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año.

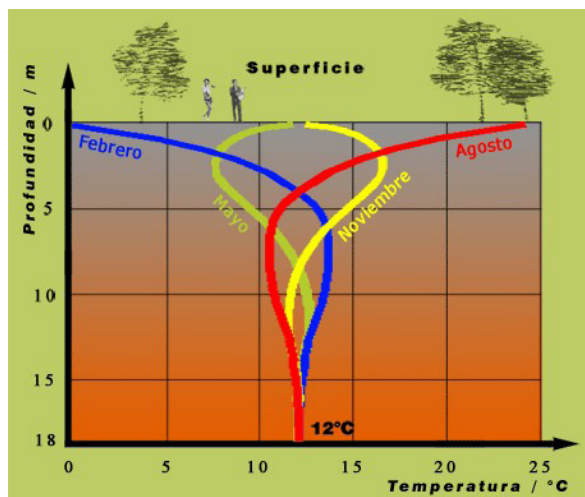


Figura 4. Temperatura del subsuelo a diferentes profundidades

Como se observa en la Figura 4, la temperatura de la superficie de la Tierra es distinta dependiendo de la estación del año, y conforme profundizamos en ella, la temperatura se va haciendo constante todo el año, hasta una media de 12°C.

Como el terreno transporta calor muy despacio y tiene una alta capacidad de almacenamiento, su temperatura cambia de forma muy lenta, en el orden de meses o incluso años, dependiendo de la profundidad de medida. Como consecuencia de esta lenta conductividad térmica, el suelo puede transferir algo de calor desde las estaciones de frío a las estaciones de calor, como se muestra en la Figura 5. Es decir, el calor absorbido por la tierra durante el verano es usado en el invierno.

Esta característica térmica del terreno la podemos observar en la Figura 5, que corresponde a una grafica obtenida por un equipo de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia para un sondeo realizado en la ciudad de Valencia⁷. Se observa para los distintos meses del año la variación de la temperatura del aire, la temperatura del terreno a 1,5 metros de profundidad y la temperatura del terreno a 5 metros, siendo esta ultima la que posee mayor constante térmica. Por lo tanto se puede deducir que la tierra es más caliente que el aire en invierno y más fría que el ambiente en verano.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

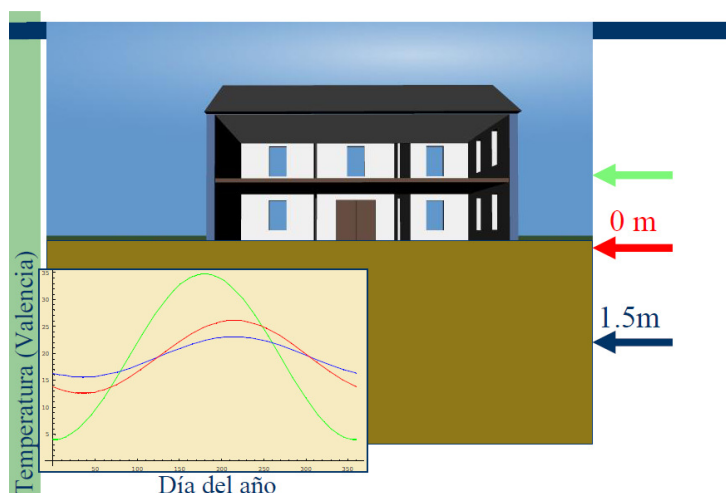


Figura 5. Variación de las temperaturas en aire y suelo en Valencia (fuente: Técnicas Energéticas Avanzadas. J. Urchueguia)

Este calor de la Tierra y de las aguas subterráneas bajo la superficie proporciona una fuente o energía renovable gratis que puede proporcionar fácilmente suficiente energía media para zonas residenciales, por ejemplo.

El calor, a baja temperatura, almacenado a poca profundidad en suelos, rocas y aguas subterráneas, recibe en la bibliografía especializada diferentes denominaciones: energía geotérmica somera o a poca profundidad, energía geotérmica de baja intensidad o de baja entalpía, e incluso geotermia solar, geointercambio, bomba de calor conectada al terreno o de fuente subterránea, etc.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50º e incluso hasta 15ºC, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización. Para ello se necesitaría de un sistema de bomba de calor, sistema que en la actualidad ya cuenta con una potencia instalada de 4.500 MWt en Europa.

La climatización geotérmica

Su principio de funcionamiento es el siguiente: para refrigerar un edificio en verano, el sistema geotérmico transmite el calor excedente del interior de la edificación al subsuelo. Por otra parte, en invierno el equipo geotérmico permite caldear un edificio con el proceso inverso: extrayendo calor del suelo para transmitirlo a la edificación. Figura 6.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

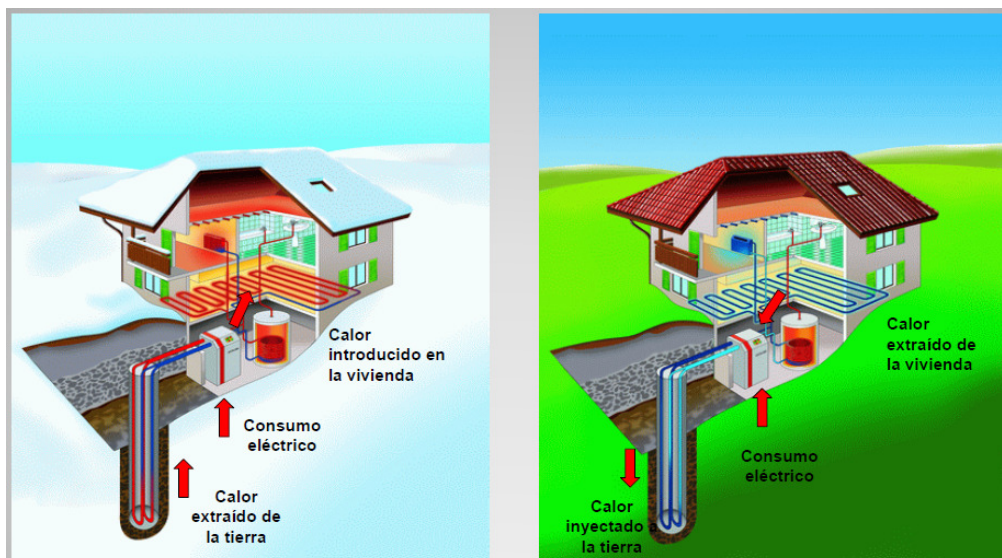


Figura 6. La instalación geotérmica en verano e invierno.

A continuación se explican cada una de las partes de que consta la instalación de climatización geotérmica explicando el mecanismo de cada parte, características, criterios de selección, etc.

3.4. Partes de una instalación geotérmica

Una instalación geotérmica consiste, básicamente, en una red de captación de energía denominada intercambiador o captador, una bomba de calor geotérmica, que realiza la transferencia de energía entre el terreno y la edificación, y una red de distribución de esa energía (suelo radiante, radiadores, fan-coils...). En sistemas abiertos también será necesaria una bomba en el extremo del captador enterrado para bombear el agua del interior del sondeo a la vivienda.

La parte de la instalación que está en el exterior de la vivienda se denomina sistema primario, que correspondería a los captadores y la parte interior de la vivienda se le denomina sistema secundario, encargado del reparto de calor por la vivienda.

3.4.1. Sistemas de captación. Intercambiador enterrado.

Los sistemas de captación son tuberías de polietileno dispuestas en vertical u horizontal que quedan enterrados en el subsuelo dentro de sondeos, de manera que extraen el calor del subsuelo y lo llevan hasta la bomba de calor. El número de sondeos y la profundidad de cada uno vendrá determinada por la demanda energética de la vivienda. El fluido caloportador es agua freática para sistemas abiertos, y una mezcla de agua y anticongelante, que se denomina salmuera, para sistemas cerrados.

Hay varios métodos de extracción de energía del subsuelo para transformarla en calor. Atendiendo al tipo de extracción del calor, se clasifican los sistemas de extracción en sistemas abiertos y cerrados. A su vez, estos poseen subgrupos que se detallan a continuación.

Sistemas abiertos

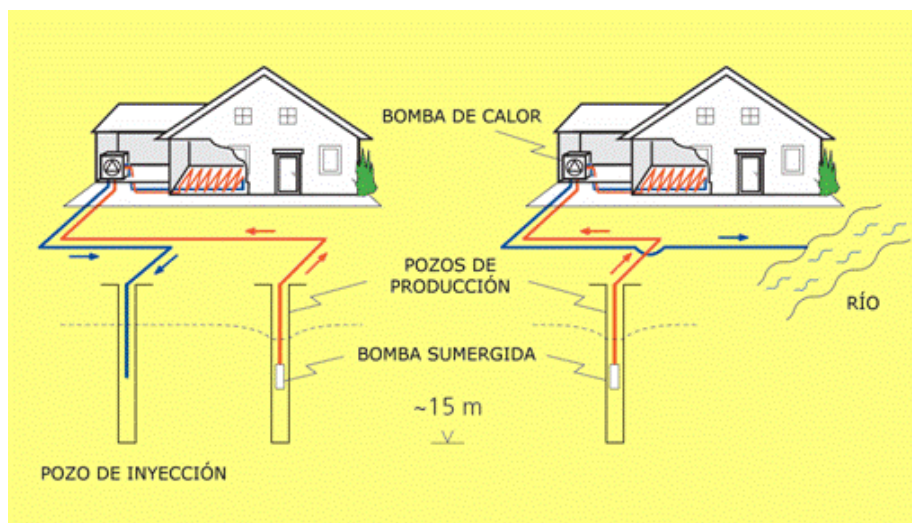


Figura 7. Esquema para calefacción de una casa familiar utilizando sondeos de captación de agua en la capa freática. (Fuente: Cattin, S. Infos- Géothermie nº 4. Suisse énergie. 2002)

Si la permeabilidad del terreno es suficientemente elevada puede recurrirse a explotar la capa freática mediante dos sondeos, uno de producción, con una bomba sumergida que conduce el agua a la bomba de calor para, una vez extraída su energía y enfriada, ser devuelta a la capa freática por un pozo de reinyección, o ser vertida a un cauce fluvial, Figura 7.

Para evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea, los sondeos de toma y restitución de agua deben situarse respectivamente aguas arriba y aguas abajo del flujo subterráneo. Para una instalación con una potencia calorífica de 20 kW puede ser necesario un caudal de agua de alrededor de 6 m³/h. Para demandas energéticas grandes, de más de 75 kW, los sistemas abiertos que explotan acuíferos poco profundos, por debajo de la capa freática, mediante pozos de captación y de reinyección, ofrecen, cuando pueden utilizarse, ventajas económicas con respecto a los campos de sondas geotérmicas, derivadas del ahorro que supone tener que perforar menos metros de sondeos.

Sistemas cerrados

a) Captadores horizontales

Con tan sólo una capa superficial de suelo de 0,8 m de espesor es posible enterrar unos colectores horizontales, tubos de polietileno de 25 a 40 mm de diámetro, por los que circula agua con un anticongelante que, conectados a una bomba de calor geotérmica, pueden satisfacer las necesidades de calefacción de una vivienda familiar de tipo medio, alrededor de 150 m². Sólo se necesita que la parcela de terreno disponga de un espacio despejado que sea 1,5 veces la superficie habitable a calentar, en el caso de vivienda nueva, y hasta 3 veces para casas antiguas con malos aislamientos térmicos, Figura 8.

Debido a la escasa profundidad a la que están enterrados los tubos, el clima tiene una influencia extraordinaria en esta modalidad de explotación. El terreno sirve, por así decirlo, de acumulador de energía solar. La energía geotérmica propiamente dicha no reviste más que un papel secundario.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Dependiendo de la altitud topográfica del terreno, las capas de tubos que forman los serpentines o bucles geotérmicos permiten obtener de 20 a 30 W de energía térmica por m² ocupado por el bucle. En estos casos, unos breves reconocimientos geológicos y geotécnicos del terreno, y seguir las recomendaciones del fabricante de la bomba de calor suele ser suficiente.

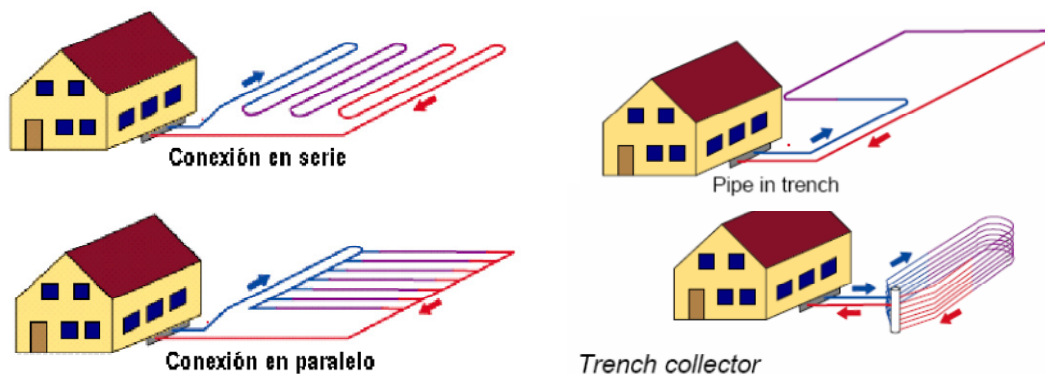


Figura 8. Sistemas de captación horizontal

b) Sondas verticales

Si la capa de suelo no tiene espesor suficiente, si la superficie disponible para enterrar los colectores horizontales es insuficiente, si existen canalizaciones en el subsuelo, o si la demanda energética es mayor que la que pueden proporcionar los colectores horizontales, siempre se podrán utilizar colectores de calor, en posición vertical, en el interior de uno o varios sondeos, con profundidades que pueden ir desde cerca de 20 m hasta más de 100 m, y diámetros de perforación de tan sólo 10 a 15 cm. Estos dispositivos reciben el nombre de **sondas geotérmicas**. Figura 9.

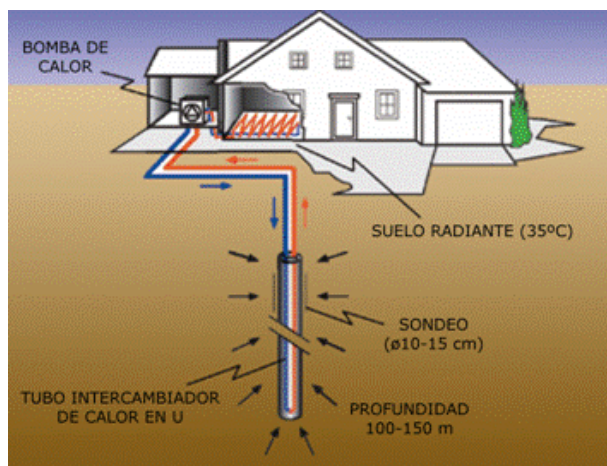


Figura 9. Sonda geotérmica vertical. (Fuente: Haga Gerodur /CHYN. Géothermie. L'Utilisation de la chaleur terrestre. Suisse énergie).

Un parámetro clave para el dimensionamiento de una sonda geotérmica es la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda, y varía, generalmente, entre 20 y 70 W/m. En el caso de requerir mayores potencias, por tratarse de grupos de viviendas o de edificios de

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

grandes dimensiones, puede recurrirse al empleo de **campos de sondas geotérmicas**, en número de 4 a 50, dispuestas lo más cerca posible de las edificaciones o incluso debajo de ellas, con profundidades de 50 a 300 m, que dependerán de la potencia requerida y de las condiciones geológicas locales.

La Figura 10 muestra un esquema en el que puede verse un ejemplo de un campo de sondas geotérmicas. En la citada figura puede observarse la densidad del campo de sondas geotérmicas como base para la climatización de un centro comercial, industrial o público, que precisará asimismo de un número suficiente de bombas de calor geotérmico.

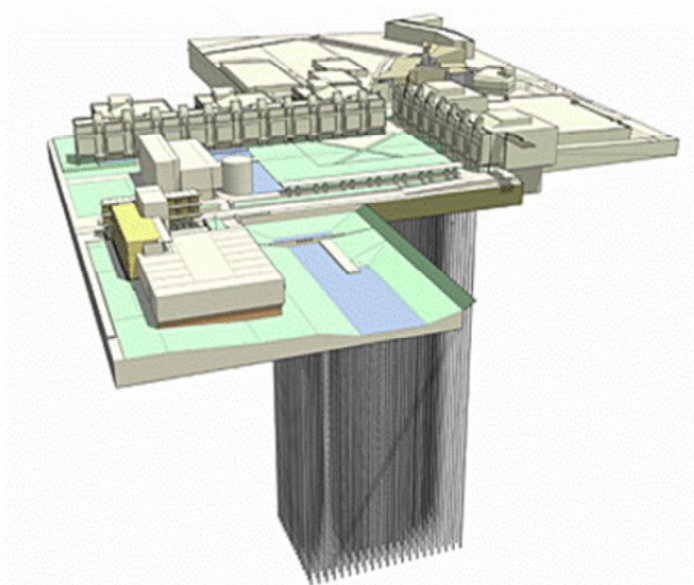


Figura 10. Esquema del proyecto del Instituto Tecnológico de la Universidad de Ontario en Oshawa (Canadá) sobre un campo de sondas geotérmicas (Fuente: @Geoexchange).

3.4.2. La bomba de calor geotérmica

Antes de entrar en detalle, veamos qué es y cómo funciona una bomba de calor convencional.

La bomba de calor trabaja siguiendo dos principios físicos muy básicos. El primero se basa en que “Un gas se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande”, y el segundo, siguiendo la segunda Ley de la Termodinámica dice que “el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés”.

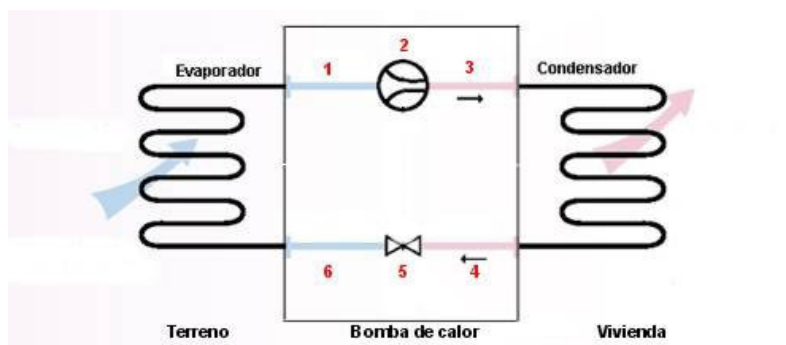


Figura 11. Esquema básico de una bomba de calor Aire-Agua

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

La bomba de calor convencional es de tipo agua-aire, siendo el agua el fluido de trabajo (junto con un refrigerante) y el aire, el medio de donde extrae la energía de intercambio. El funcionamiento de la bomba convencional de calor sigue el esquema presentado en la Figura 11 y detallado a continuación:

- El fluido de trabajo (refrigerante) de la bomba de calor se evapora (1) en contacto con el calor que extrae del aire exterior (que actúa como evaporador), absorbiendo de ese modo una gran cantidad de energía.
- El compresor (2) comprime este gas, aumentándolo, por tanto, de temperatura.
- Este gas a alta presión (3), en contacto con el suelo radiante (o el medio de calor que sea), le cede toda esa energía que contiene en forma de calor; así, el suelo radiante calienta la vivienda, y actúa en el ciclo como condensador.
- Al ceder ese calor, el refrigerante vuelve a la bomba de calor en estado líquido (4)
- Una válvula de expansión (5) baja la presión al fluido, que disminuye también su temperatura y vuelve de nuevo a entrar en contacto con el aire exterior.
- Al estar en estado líquido y a muy baja temperatura, el contacto del fluido con la energía del aire exterior (6) lo hace absorber esa energía, evaporándose de nuevo, y comenzando de nuevo el ciclo.

Este tipo de funcionamiento presenta unas desventajas importantes:

- Bajo rendimiento, cuando las temperaturas exteriores son bajas.
- Formación de escarcha en el evaporador, que requeriría una inversión del proceso para el “desescarchado”.
- Golpe de líquido en el compresor.

La bomba de calor geotérmica (BCG) es una bomba tipo agua/agua de compresión que resuelve estos problemas planteados. La bomba de calor es un dispositivo eléctrico que incorpora un intercambiador enterrado que es el que permite que el intercambio de calor con el suelo se realice (Figura 12).

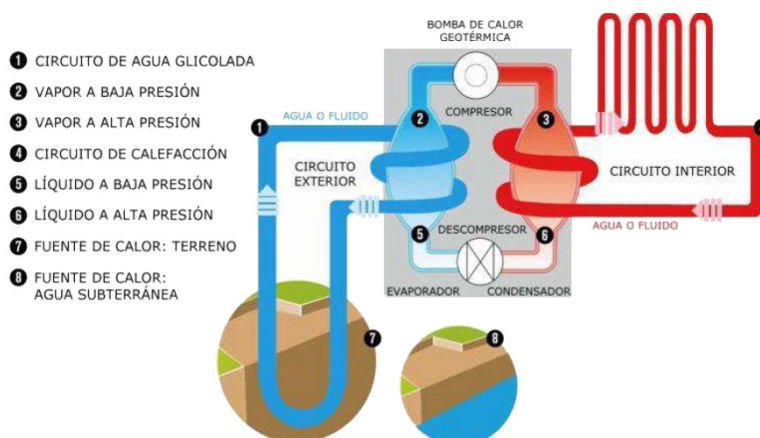


Figura 12. Esquema de una bomba de calor geotérmico

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

La eficiencia de la máquina se expresa por medio de un coeficiente internacionalmente aceptado, conocido como COP (*Coefficient of Performance*), y que se define como el cociente entre la energía útil obtenida de la máquina y la energía de todo tipo que dicha máquina ha consumido en el proceso.

Una BCG típica tiene un COP alrededor de 4 (Figura 13), que indica que producen 4 unidades de calor por una unidad de energía eléctrica suministrada. Sin embargo, el COP de una BCG puede ser incluso mayor dependiendo principalmente de la diferencia entre la temperatura de consigna y de la temperatura del agua del subsuelo, y por tanto, de las condiciones geológicas y de los parámetros técnicos de las tuberías que transfieren el calor y de las viviendas a climatizar.

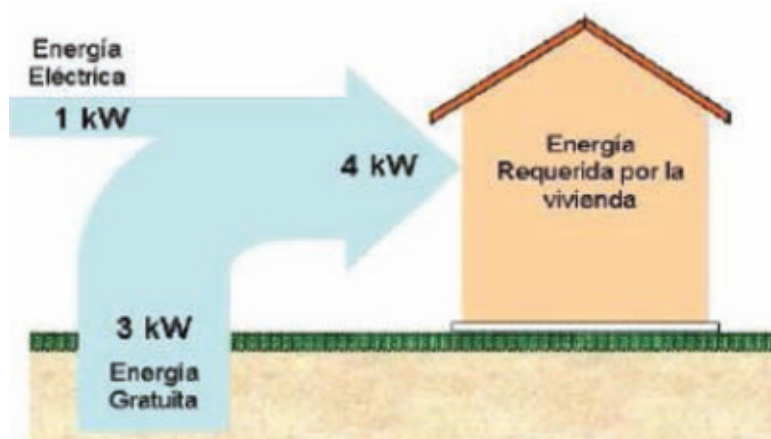


Figura 13. Eficiencia energética de la instalación geotérmica.

Como ya se ha mencionado, las BCG pueden trabajar para calefactar y/o refrigerar. Una bomba de calor puede obtener los dos procesos de calefacción y refrigeración mediante dos sistemas: **equipo no reversible** donde el refrigerante discurre siempre en el mismo sentido. El cambio de funcionamiento se realiza en el lado del agua en el circuito hidráulico interior en el que, dependiendo si las necesidades son de calefacción o refrigeración, el conjunto de las válvulas hace que el agua fría y caliente transite por una u otra dirección. En los **equipos reversibles** la inversión se produce en el ciclo frigorífico mediante una válvula de cuatro vías que direcciona el flujo de refrigerante hacia el intercambiador del agua enviada al exterior o al interior en función de que las necesidades sean de calefacción o refrigeración. De esta forma, en calefacción, el intercambiador interior actúa como condensador y calienta el agua que circula a la instalación, en el caso contrario, actuará como evaporador y el agua será enfriada. El valor del COP suele estar comprendido entre 4 y 6.

Para refrigerar con geotermia existen dos posibilidades: La primera y más sencilla funciona sin bomba de calor. La temperatura del subsuelo se utiliza directamente para enfriar, o sea que la salmuera o el agua freática no circula por la bomba, sino por un intercambiador de calor de placas adicional y enfría el agua que circula por el suelo radiante. Esta forma de enfriar se llama **refrigeración pasiva** y permite una climatización del edificio de una manera muy económica.

Se puede conseguir un COP de hasta 18, porque en funcionamiento solamente consume energía la bomba de salmuera, o la bomba sumergible.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Si la potencia tiene que ser más alta se utiliza la **refrigeración activa** con una bomba de calor reversible, que produce calor y cuando se invierte el proceso, frío. La refrigeración activa es más costosa por su consumo eléctrico pero al mismo tiempo consigue potencias de refrigeración más altas y constantes que la refrigeración pasiva. Suele presentar un COP de entre 3 y 5.

La mayor ventaja de las BCG radica en el pequeño salto térmico que han de salvar tanto en verano y en invierno.

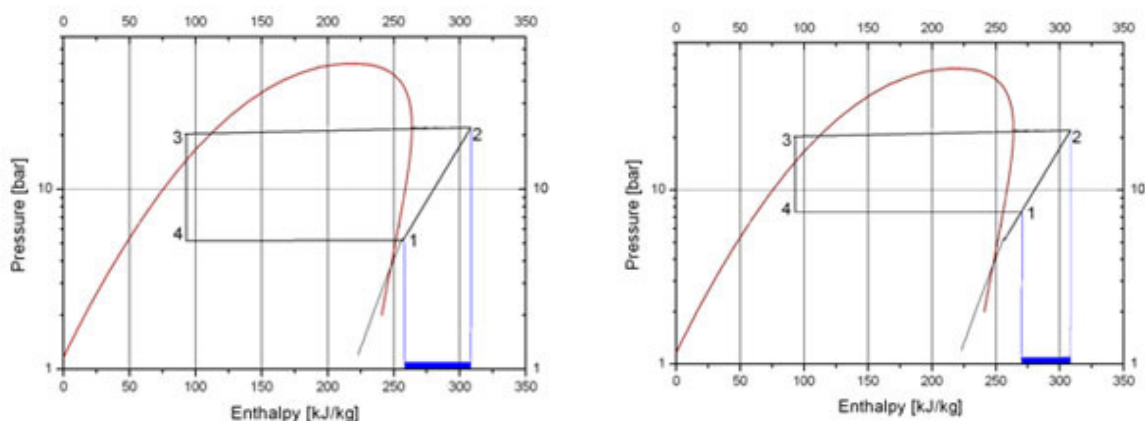


Figura 14 Diagrama de Entalpia VS Presión para una bomba de calor convencional y una bomba geotérmica (dcha.)

En la Figura 13 vemos la base física de la relación temperatura-prestaciones para una bomba de calor trabajando en modo calor, que queda reflejado en un **Ciclo de Carnot**. En la gráfica de la izquierda se ve el aumento de entalpía del refrigerante en la etapa de compresión [1 – 2], que corresponde al trabajo del compresor. Si logramos aumentar la temperatura de evaporación, y por lo tanto la presión (Figura 14 dcha.), el compresor tiene que trabajar menos para llegar a la misma presión (y por lo tanto temperatura) en el condensador y el gasto de electricidad disminuye. En refrigeración se puede ahorrar energía del mismo modo bajando la temperatura del condensador. El suelo, comparado con el aire, ofrece una fuente de calor a mayor temperatura en invierno, cuando esté conectado al evaporador; mientras que en verano, cuando intercambia calor con el condensador, forma un sumidero de calor a menor temperatura.

Durante todo el año, la diferencia de la temperatura del agua entre el circuito primario (terreno/bomba de calor) y el circuito secundario (bomba de calor/suelo radiante) es mínima. Tanto en invierno como en verano, éstos valores se mantienen prácticamente constantes si consideramos que tanto el circuito primario como el circuito secundario trabajan de forma estable aprovechando la “inercia térmica” del terreno y de la casa⁸.

En invierno, el salto térmico del agua es de sólo 15°C si consideramos que el agua en el circuito primario trabajará con una temperatura media de +15°C y el circuito secundario o terciario a +30°C.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

En cambio en verano, en modo de refrigeración, el salto térmico es de +2°C considerando que la temperatura del circuito primario se mantiene también en aproximadamente +15°C y el circuito secundario a +17°C.

4. Normativa de aplicación

- Ley 22/1973, de 21 de Julio, de Minas
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. RD 863/1985, de 2 de abril.
- Orden de 9 de noviembre de 2022, de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se adoptan medidas de Normalización en la tramitación de expedientes en materia de Industria, Energía y Minas.
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- Código Técnico de la Edificación. CTE-HE.

5. ¿Por qué invertir en una instalación geotérmica?

Las bombas de calor Geotérmicas son superiores a otros sistemas como el de las bombas de calor aire-aire. La importancia de estas ventajas son: menor consumo de energía durante la operación, uso de la temperatura del subsuelo como una fuente de calor muy estable, bajo coste de diseño y mantenimiento, no es necesario suplementar más calor en épocas de bajas y altas temperaturas y menor cantidad de refrigerante necesario.

Además, debido al alto COP que generalmente presenta una bomba de calor y de la utilización de energía solar y geotérmica almacenada en el subsuelo, las instalaciones geotérmicas son capaces de tener unas emisiones de CO₂ mucho más bajas en comparación con un sistema de calefacción convencional.

Un estudio de la Agencia americana de Protección del Medioambiente (EPA) pudo demostrar que el combustible fósil utilizado en el sector residencial para calefacción en EEUU producía desde 1,2 a 36 veces más emisiones equivalentes de CO₂ que un sistema de BCG⁹. Además, un estudio europeo haciendo uso de una media de emisiones de CO₂ equivalente de 550g CO₂ por kWh para producción de electricidad mostró que las bombas de calor eléctricas ahorran hasta un 45% de emisiones adicionales de CO₂ comparado con una caldera de gasoil y hasta un 33% comparado con una caldera de gas⁹. Figura 15.

La baja emisión de CO₂ es debido principalmente a que este sistema de climatización no quema ningún combustible y por lo tanto, no genera emisiones, pero si lo hace la electricidad que consume la bomba geotérmica. Al ser el rendimiento de la maquina alto, obtenemos gran cantidad de energía con poca aportación eléctrica, y por consiguiente, con pocas emisiones de CO₂ a la atmosfera.

El ahorro de las emisiones de CO₂ por uso de bombas de calor para el año 2020 en España en torno a 113.609 tn de CO₂/año⁴. Este ahorro está calculado en función de una tasa de crecimiento definida (2010 a 2015 un 15% y a partir del 2015, una vez consolidado el mercado, se mantenga en tasas del 10-12%), y suponiendo que la electricidad consumida proviene de un ciclo combinado de gas natural con un rendimiento del 54%.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

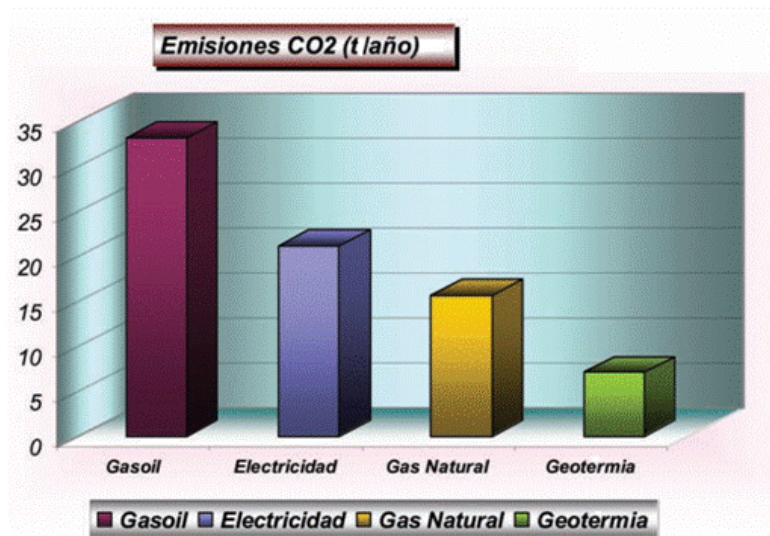


Figura 15 Emisiones de CO2 de distintas instalaciones

Dado que inicialmente esta tecnología se desarrolló en regiones con inviernos muy crudos, se suelen destacar los importantes ahorros tanto de energía que permite la geotermia de baja temperatura para calefacción en los países fríos. Y mayor rentabilidad se obtiene cuanto menor es la diferencia de temperatura entre la tierra y el ambiente a calefactar, por lo que si en los países nórdicos que diseñan estos equipos se logran grandes rendimientos, en España la rentabilidad es aún mayor, llegando a ahorrar un 65 - 75% de los costes en calefacción. Además, en nuestro país cada vez se consume más energía para refrigeración en verano, por lo que la rentabilidad de las bombas de calor geotérmicas es aún mayor.

La mayor desventaja es su elevado coste inicial, siendo entre un 30-50% mas caro que las unidades de aire. Esto es debido a los gastos extra que suponen la perforación y entierro de los intercambiadores de calor. Pero, una vez instalado, el coste anual es menor durante la vida útil del sistema, teniendo resultados de ahorro neto¹⁰.

6. Retos e Investigación en el Sector de la Geotermia Somera

Para conseguir una utilización generalizada de esta fuente de energía, es necesario profundizar en la investigación sobre nuevas tecnologías, potenciales aplicaciones, así como implementar metodologías estandarizadas de reconocimiento y caracterización del terreno, perforación, instalación, explotación y mantenimiento que permitan ejecuciones de calidad homogénea por profesionales adecuadamente cualificados. Este objetivo implica una serie de retos que se pretenden presentar en este apartado:

Tecnologías

Es necesario buscar nuevas alternativas y solventar la principal barrera de introducción de la tecnología geotérmica que es el coste asociado al movimiento de tierras. Fundamentalmente en instalaciones de elevada potencia en climatización, la inversión inicial para la implantación de estos sistemas es considerable. El objetivo debe ser minimizar esta inversión inicial mediante la incorporación de los elementos de intercambio geotérmico a la cimentación de los edificios eliminando así la principal barrera de desarrollo de los sistemas geotérmicos. Para ello es necesario desarrollar y validar experimentalmente protocolos de diseño y modelado de este tipo de sistemas para el correcto dimensionamiento de los mismos.

Aplicaciones

Otro reto importante para la implantación de la geotermia somera en España es localizar potenciales aplicaciones de este tipo de energía en diferentes contextos de la edificación, la industria, la obra pública, la agricultura, el ocio, etc. En relación a esto pueden citarse por ejemplo aplicaciones en carreteras, puentes, túneles, pistas de aeropuerto o estaciones de metro y tren, así como instalaciones geotérmicas de baja entalpía en elementos de cimentaciones profundas como pilotes y muros pantalla.

Metodologías

La metodología habitual empieza por recopilar los datos de la geología local y regional en diferentes fuentes, principalmente en:

- Estudio geotécnico de cimentación, según el Código Técnico de la Edificación, donde se dispondrá de información de sondeos muy superficiales (entre 5 y 35 m) que indicarán cuáles son los materiales que nos encontramos en detalle, posición de niveles freáticos superficiales, y el análisis químico de las aguas que se encuentran en esos primeros metros. Este estudio es clave, ya que los materiales de que se compone el suelo a perforar determinarán el coste de la perforación y la potencia geotérmica extraíble. Sirva a modo de ejemplo la siguiente gráfica.
- Mapas geológicos e hidrogeológicos regionales de la zona a investigar, editados por el IGME a nivel estatal, aunque algunas autonomías también disponen de ellos. Estos mapas nos servirán para conocer en profundidad los materiales que encontraremos, si hay fallas, posición de los diferentes acuíferos, etc.

7. Metodología desarrollada

7.1. Resumen de la Metodología

Los pasos a seguir de forma resumida para llevar a cabo la metodología que se propone quedan reflejados en la Figura 16. Se distinguen dos etapas, la determinación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región, y el análisis energético-económico.

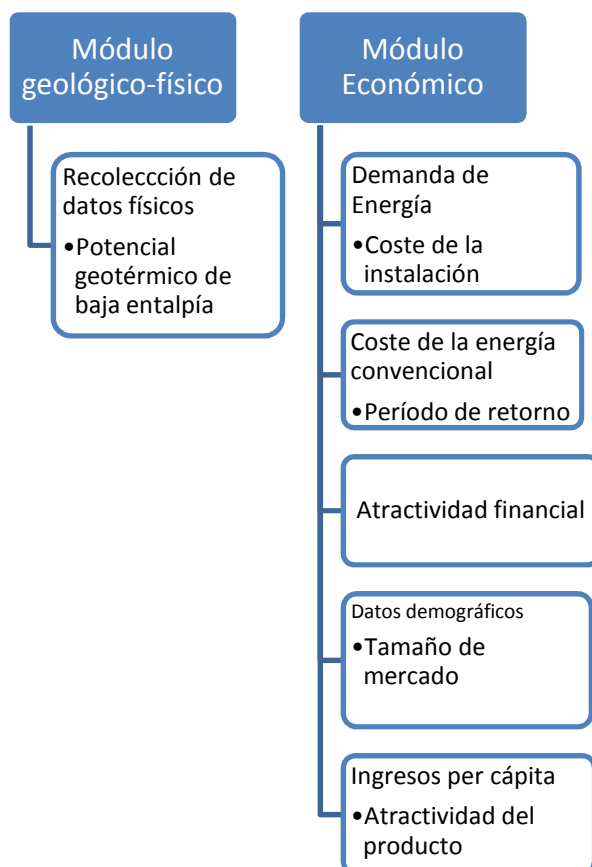


Figura 16 Resumen de la metodología

Determinación del potencial geotérmico

1. A partir del Mapa Litológico de la Región de Murcia 1:200.000 perteneciente al Instituto Geológico y Minero (IGME) tenemos una clasificación del suelo según su litología. Con este mapa se crea una capa de GIS asignándole a cada litología un código numérico.
2. Se ha determinado la profundidad media de los acuíferos georreferenciados de la región de los últimos 10 años a través de datos medidos de los piezómetros pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Segura. Mediante herramientas de GIS, se crea una malla con todos los datos para estimar la altura del freático en toda la región.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

3. De normativa alemana se ofrecen tablas de calor específico extraíble por tipo de litología, diferenciado los materiales secos y saturados. Por el tipo de litología y la altura del acuífero, se asigna un valor de calor específico extraíble de las tablas mencionadas por litología. Volcando los datos en GIS, obtenemos el mapa de potencial geotérmico de baja entalpía de la Región de Murcia.

Determinación del modelo energético-económico

1. Estimar la demanda energética para una vivienda tipo de la Región de Murcia para cubrir las necesidades de calefacción, refrigeración y ACS. Para ello se ha seguido Metodología publicada por IDAE que se resume en los siguientes pasos:
 - a. Determinación de la calificación energética de las viviendas de la Región. Se ha conseguido con:
 - i. Curva perfil tipo del número de viviendas por tipo de calificación energética para nuevas viviendas extensible a viviendas antiguas. Guía IDAE.
 - ii. Estadísticas con los datos de las viviendas antiguas y nuevas de la Región.
 - b. Se calcula el valor de referencia de demanda energética para todas las capitales de los municipios, en función de su altitud con respecto a la de la ciudad de Murcia, asignándole a cada municipio una zona climática.
 - c. A este valor de demanda por municipio para viviendas unifamiliares y plurifamiliares, se le aplican unos Índices de Eficiencia Energética (IEE), obteniendo los valores de demanda energética para calefacción y refrigeración por clase de eficiencia energética de la vivienda para unifamiliares y plurifamiliares.
 - d. Determinación según datos estadísticos del número de viviendas nuevas (construidas a partir de 1991) y existentes (anteriores a 1991), que aplicando la curva perfil del punto (a.i.) obtenemos el número de viviendas para cada tipo de calificación energética.
 - e. Estimación según datos estadísticos del número de viviendas unifamiliares y plurifamiliares por municipio
 - f. Sabiendo el número de viviendas por clasificación energética y los valores de demandas por clasificación energética, se obtiene finalmente un valor medio calculado por municipio de demanda energética para calefacción y refrigeración.
 - g. Cálculo de la demanda energética de ACS con HE4 de Contribución Solar mínima de CTE.
2. Determinación de la potencia de la bomba, a través de la siguiente expresión:

$$P_{BHE}(KW) = Consumo \left(\frac{KWh}{m^2} \right) * \frac{Superficie\ media\ viviendas\ (m^2)}{tiempo\ de\ funcionamiento\ (h)}$$

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

- Determinar la demanda pico para cada uno de los municipios según climatología. Con la demanda pico calculamos el consumo de energía para abastecer esa demanda con el fin de determinar la potencia pico que debe tener la instalación.
- Determinación de la superficie media de las viviendas de la región de Murcia
- Determinación de las horas de funcionamiento de la instalación en modo calefacción y refrigeración

3. Cálculo de la profundidad de la perforación para el intercambiador de calor Z_{BHE} .

- a. Z'_{BHE} la obtenemos al dividir la demanda de potencia P_{BHE} entre el calor específico extraíble medio para cada municipio, más la corrección de la temperatura superficial del terreno ΔZ_{GST} .

$$Z'_{BHE} = \frac{P_{BHE}}{SHE} + \Delta Z_{GST}$$

- b. ΔZ_{GST} es el factor de corrección de la profundidad del sondeo por la temperatura superficial del terreno. Se calcula en función de GST, temperatura superficial del terreno, y este a su vez de SAT, temperatura superficial del aire. SAT se obtiene datos de estaciones meteorológicas de las temperaturas medias de cada municipio de los últimos 10 años.

- c. Determinación de la corrección de la profundidad en función de la temperatura superficial del terreno.

$$\Delta Z_{GST} = -0,08GST^3 + 3,47GST^2 - 60,7GST + 395,3$$

4. Cálculo del coste de la instalación se determina con el producto de la profundidad del intercambiador para cada municipio por el coste de la perforación C_p medio para cada municipio.

$$C_{BHE} = Z'_{BHE} \cdot C_p$$

Mediante el Mapa Geotécnico de la Región, realización de mapa de la región según dureza de la roca, distinguiendo entre roca dura y roca blanda, cada una de ellas con un precio asignado de perforación.

5. Retorno de la inversión de una instalación individual. Determinación del precio del KWh geotérmica por municipio.

$$C_{KWh} = C_{BHE}/U$$

- Posterior comparación del precio obtenido con los precios de la energía convencional actual en KWh.
- Determinación del precio de una instalación convencional, y cálculo del tiempo en años en que la instalación geotérmica empieza a tener un beneficio positivo.

6. Beneficios financieros en el presupuesto regional. Calculamos una serie de factores indicativos de la idoneidad de invertir en esta fuente renovable.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Determinación del ratio entre el coste de la instalación y el ahorro de emisiones de CO₂ por KWh producido en un período de 10 años. Se debe conocer las emisiones de los combustibles convencionales para calefacción.

7. Indicadores para emprendedores: tamaño del mercado y atractivo del producto

Consideramos que el tamaño de mercado es proporcional a la población de cada municipio suponiendo que todos quieren cambiar su instalación por una geotérmica. Para cada municipio, el potencial de mercado lo podemos definir como el coste medio de una instalación geotérmica por municipio por el número de casas de cada municipio (N).

$$\text{Tamaño de mercado} = C_{\text{BHE}} \cdot N$$

Tomamos en cuenta que hay mayor posibilidad de que se instale geotermia en zonas donde la renta per cápita es mayor y donde el coste de la instalación sea más barata. Determinamos el indicador de atractivo del mercado como la relación entre los ingresos individuales y el coste de la instalación.

Como apoyo a la comprensión de los datos obtenidos, se adjunta el mapa de los municipios de la Región de Murcia.

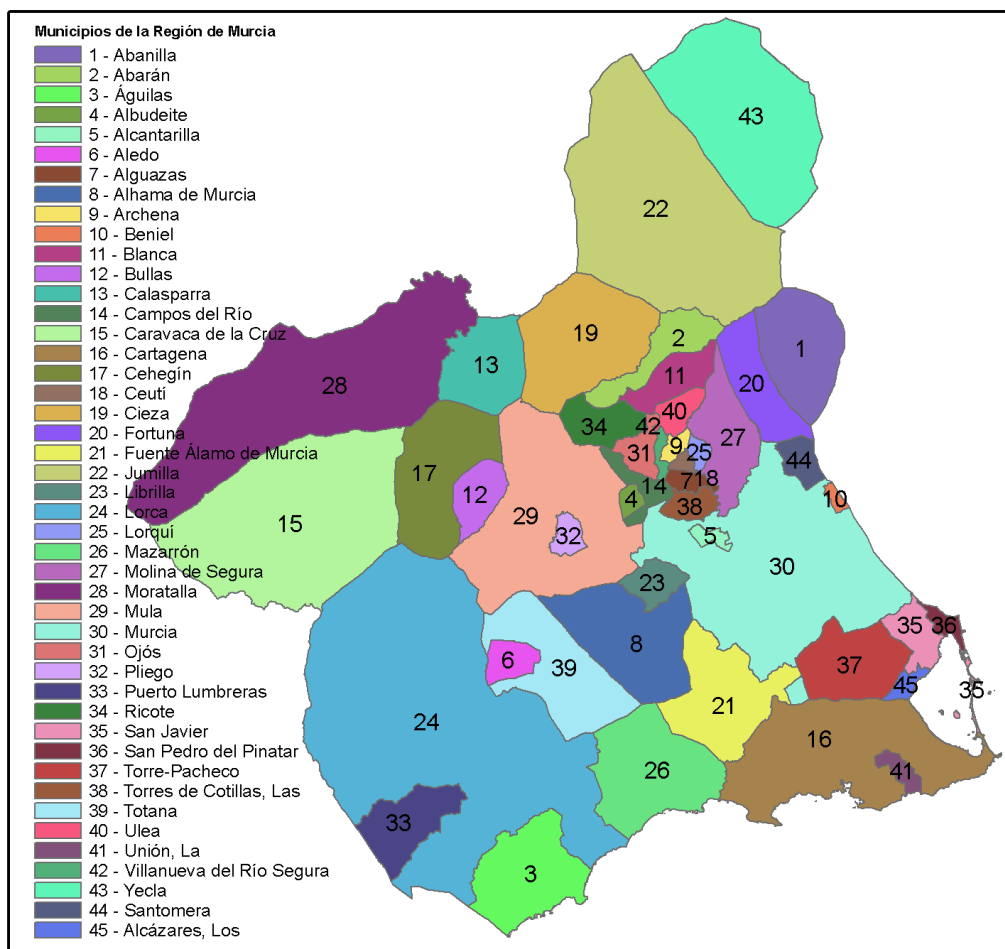


Figura 17 Mapa Municipios de la Región de Murcia

7.2. Herramientas utilizadas

Las herramientas de cálculo y diseño utilizadas en este proyecto han sido Hojas de cálculo Excel y SIG.

Se ha seleccionado la herramienta de GIS porque permite un apropiado análisis y selección de áreas, puede tratar una gran cantidad de datos, es una herramienta potente para visualizar datos nuevos y existentes, ayuda a crear nuevos mapas mientras evita errores humanos en el proceso de toma de decisiones, y permite un manejo efectivo de los datos de GIS¹¹.

Los GIS, son herramientas que permiten consultar, analizar y editar datos, mapas e información espacial, en un sentido genérico. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en inglés denominados como GIS (Geographic Information System), son sistemas informáticos (hardware y software) enfocados al análisis, consulta, desarrollo, manipulación, almacenamiento, en definitiva, al tratamiento de información geográfica.

Por lo tanto un SIG es un programa informático en el cuál se pueden tratar datos, habitualmente datos geográficos, o datos ligados a éstos. Además es una herramienta de tratamiento de datos referenciados geográficamente, en la que también es posible realizar consultas.

Los GIS son habitualmente usados en diversas disciplinas como investigaciones científicas en su más amplio concepto, cartografía, arqueología navegación, logística, planeamiento urbanístico, etc.

Funcionamiento de un SIG

Los SIG trabajan con información geográfica, dicha información sufre un proceso de digitalización para que pueda ser tratada con SIG. Este proceso habitualmente se realiza por medio de herramientas de Diseño Asistido por Ordenador (DAO, en inglés CAD, *Computer-aided design*). Una vez digitaliza la información es posible representarla. Existen dos tipos de representación en GIS, mediante datos raster o datos vectoriales.

Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de GIS raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas, píxels, regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

En un GIS, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras. En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos.

8. Estimación del potencial geotérmico de la Región de Murcia

La base teórica para cada modelo físico de flujo de calor es representada por la Ley de Fourier, que representa la relación entre el flujo de calor a través de un cuerpo sólido, su conductividad térmica y el gradiente de temperatura. En la tierra, la **transferencia de calor** tiene lugar por conducción en la roca sólida y, a un mayor ritmo, a través del **agua subterránea que satura los poros de la roca por convección**². El agua es 24 veces mejor conductora del calor que el aire debido a su mayor densidad¹².

Por tanto, el tipo de roca y/o sedimento y la presencia de agua subterránea son los dos factores que afectan directamente a la evaluación del potencial geotérmico de una zona, y por lo tanto, los principales factores de estudio para llegar a nuestro objetivo.

Para aplicaciones de ingeniería, el Caudal de extracción o Calor Específico de Extracción sHE (*specific heat extraction*) es medido en W/m (vatios extraíbles por metro lineal de intercambiador vertical), y representa la eficiencia térmica total de la roca¹³. Este valor está en dependencia directa con la litología del subsuelo.

El caudal de extracción de calor depende de la calidad de la tierra y de la duración de extracción de calor (período de operación de la bomba de calor en horas por año)¹⁴.

8.1. Recopilación y selección de base de datos de litología en la Región de Murcia

Se ha realizado, en primer lugar, una recopilación de toda la información estratigráfica disponible en diferentes organismos y entidades de Murcia en formato digital, llegando a la recopilación de las siguientes bases:

- Mapa Litológico de la Región de Murcia, a escala 1:200.000 (IGME).
- Mapa Litológico y de Permeabilidades de España, a escala 1:200.000 (IGME)
- Mapa geotécnico realizado por Ignacio Manteca del departamento de Geodinámica Externa de la UPCT.

De estas tres opciones se ha elegido, como más apropiada al objetivo perseguido, la primera, es decir, el Mapa Litológico de la Región de Murcia 1:200.000. Figura 18.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

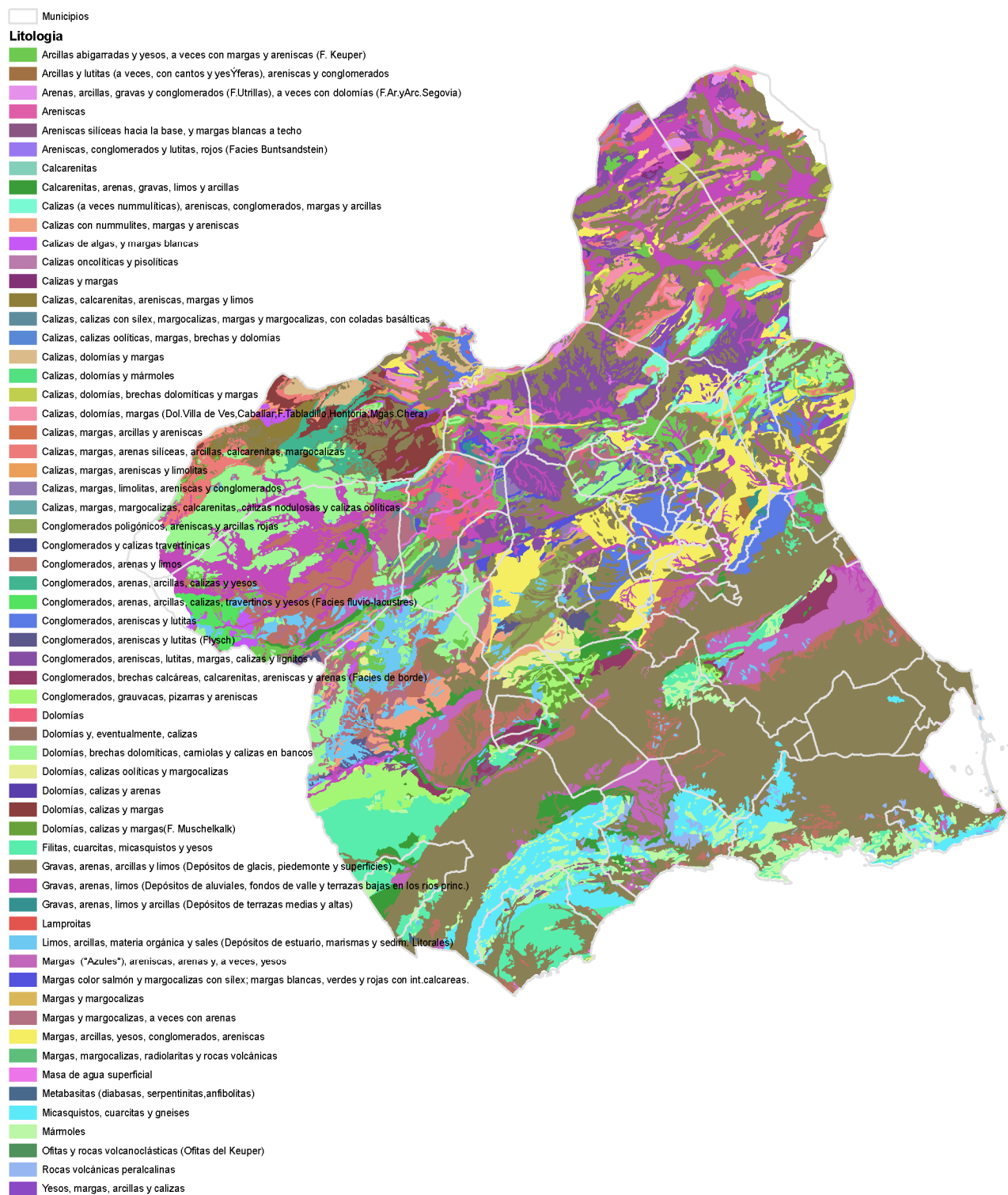


Figura 18 Mapa Litológico de la Región de Murcia

8.2. Valoración de la presencia de agua en la roca.

Las propiedades térmicas de rocas y sedimentos no consolidados son dependientes del nivel de saturación¹⁵. Además, si el intercambiador atraviesa un medio poroso saturado de agua, existirá también propagación de calor no solo por conducción sino también por convección natural y forzada⁶.

Para medir el nivel de saturación de la roca y suelos se ha determinado la profundidad del nivel freático en toda la Región.

Para su determinación se han obtenido los datos de los piezómetros de la Región de Murcia (Figura 19) con los niveles de profundidad de los últimos 10 años (2001 – 2011), (Tabla 6) información obtenida en la web de la *Confederación Hidrográfica del Segura a través del visor GIS para consulta y descarga de datos de la Red de Piezómetro*.

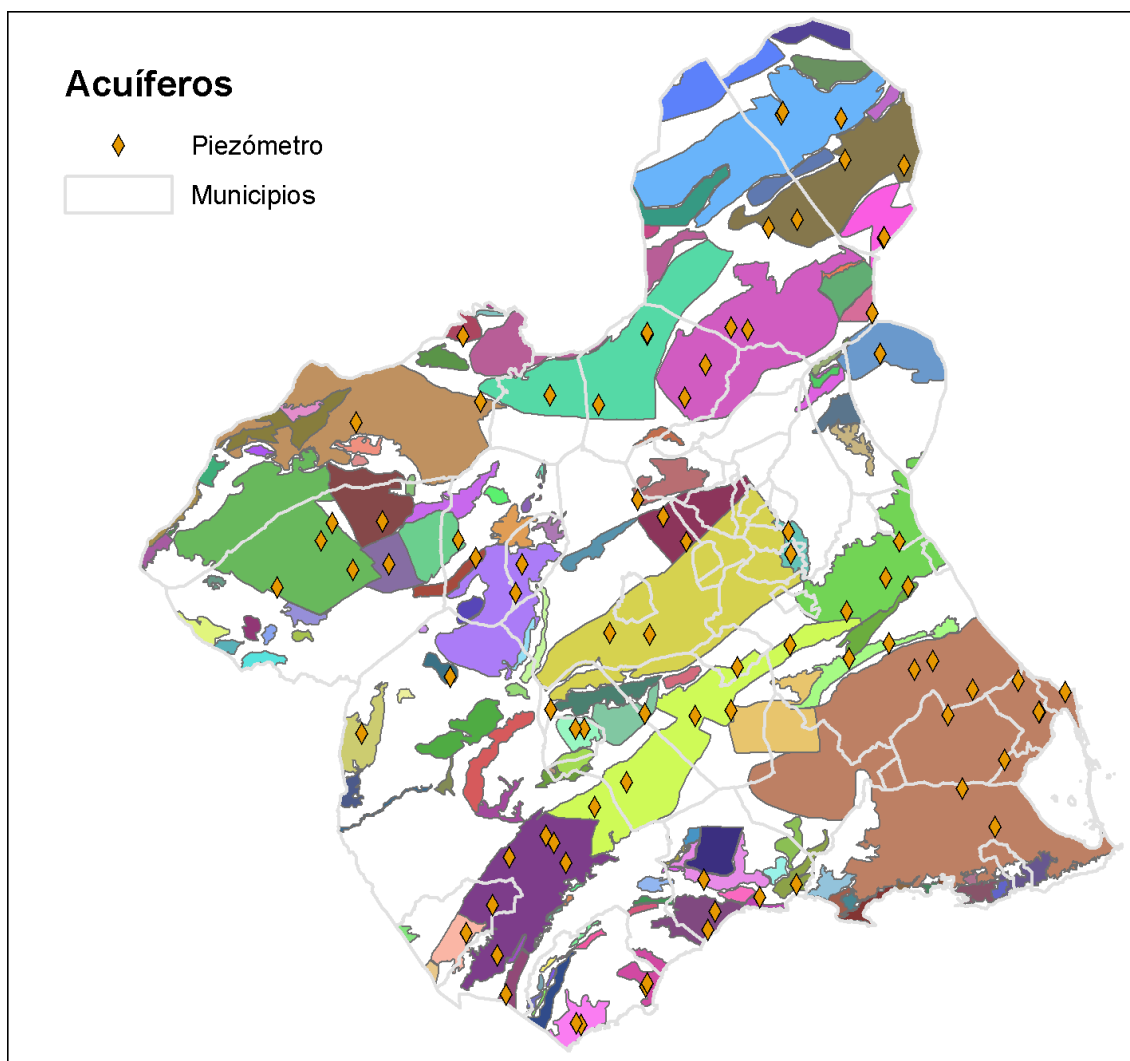


Figura 19 Mapa GIS Redes de Control de Piezómetros

La red de control piezométrico está actualmente integrada por más de 130 puntos de control, distribuidos entre las distintas masas de agua subterránea de la cuenca. La medición del nivel

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

piezométrico en cada masa, se realiza a partir de la verificación de la profundidad a la que se encuentra el agua, en algunos de los sondeos existentes.

Para la selección de los puntos de control donde se realiza la medición, se vienen eligiendo aquellos emplazamientos que se consideran más significativos del comportamiento global de la masa de agua. La densidad espacial de piezómetros necesaria para seguir su evolución no es totalmente uniforme en el conjunto de la cuenca. En función del ámbito geográfico definido para cada masa de agua, se realiza en ellas una medición que va desde exclusivamente un único piezómetro en las de menor extensión superficial, hasta los once piezómetros de la de mayor extensión.

Entre las masas de agua que disponen de un mayor número de puntos de control se encuentran aquellas en las que se ubican la mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas de la cuenca del Segura, como son las del Campo de Cartagena, Caravaca, Vegas Baja y Media del Segura, Anticlinal de Socovos, Alto Guadalentín, Bajo Guadalentín, Ascoy-Sopalmo, Boquerón, Bullas, El Molar, Mazarrón, Pliegues Jurásicos del Mundo, Cuchillos-Cabras, Sierra Espuña, Cingla, Águilas y Sinclinal de Calasparra.

Nombre acuífero	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Nivel medio del acuífero	Profundidad del nivel medio del Acuífero
Los Vaqueros	643377,7	4158016,1	48,31	Mazarrón	-126	174
Campo de Cartagena (Andaluciense)	691719	4187835	25	San Javier	-75	100
Los Molares-Lorente	655592,4	4162092,4	64,39	Mazarrón	-67	132
Santa-Yéchar	633003	4187562	345	Alhama de Murcia	-36	381
Campo de Cartagena (Andaluciense)	675894	4195350	205	Murcia	-27	232
Campo de Cartagena (Plioceno)	688574	4192437	87	San Javier	-25	112
Campo de Cartagena (Andaluciense)	681803,8	4191115,5	118,95	Murcia	-23	142
Campo de Cartagena (Plioceno)	691725	4187837	24	San Javier	-21	45
Cabezo de los Pájaros	650123,4	4160147,9	19,13	Mazarrón	-9	29
Águilas-Cala Reona	623447,1	4141146,5	28,28	Águilas	-2	31

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Nombre acuífero	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Nivel medio del acuífero	Profundidad del nivel medio del Acuífero
Campo de Cartagena (Cuaternario)	695610	4190754	6	San Pedro del Pinatar	2	4
Los Vaqueros	642342,9	4155389	33,06	Mazarrón	10	23
Campo de Cartagena (Cuaternario)	691822	4187768	25	San Javier	16	9
Campo de Cartagena (Plioceno)	680253,5	4176348,1	36,61	Cartagena	17	19
Cope-Cala Blanca	633299,9	4147348,4	45,65	Águilas	18	28
Campo de Cartagena (Andaluciense)	673189,9	4194102,9	181	Murcia	19	162
Campo de Cartagena (Cuaternario)	686542	4180629	22	Torre-Pacheco	19	3
Cresta del Gallo	672184,6	4206462,7	55,4	Murcia	20	36
Campo de Cartagena (Plioceno)	685215	4170714	30	Cartagena	20	10
Cope-Cala Blanca	633096	4146940	52	Lorca	22	30
Vegas Media y Baja del Segura	670900	4213186	27	Santomera	25	2
Vegas Media y Baja del Segura	668807,5	4207812,2	36	Murcia	31	5
Vegas Media y Baja del Segura	663050,7	4202777,3	46,31	Murcia	31	15
Bajo Guadalentín	654628	4197786,9	100,14	Murcia	44	56
Ascoy-Sopalmo	648235	4244853	352,12	Jumilla	54	298
Vega Alta del Segura	654767,9	4211345,6	76,32	Las Torres de Cotillas	61	16
Vega Alta del Segura	654397,8	4214749,1	74,68	Alguazas	61	14
Alto Guadalentín	612773,7	4166125,8	318,81	Lorca	70	249
Alto Guadalentín	611009,1	4151539,7	318,47	Lorca	76	242
Ascoy-Sopalmo	641961,4	4239600,1	341,17	Cieza	81	260

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Nombre acuífero	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Nivel medio del acuífero	Profundidad del nivel medio del Acuífero
Campo de Cartagena (Cuaternario)	678179	4187307	108	Torre-Pacheco	94	14
La Majada-Leyva	641740,1	4162802,5	158,38	Mazarrón	96	62
Enmedio	606349,3	4154899,3	425,23	Puerto Lumbreras	98	328
Ascoy-Sopalmo	645808,4	4245236	418,6	Jumilla	98	321
Bajo Guadalentín	630204,4	4177276,6	248,56	Totana	99	150
Carrascoy	645848,5	4188080,4	238,64	Alhama de Murcia	100	138
Campo de Cartagena (Cuaternario)	681800,8	4191116,6	119,13	Murcia	104	15
Bajo Guadalentín	646726,8	4194420,7	146,97	Librilla	115	32
Alto Guadalentín	619341,4	4168344,9	293,3	Lorca	123	170
Ascoy-Sopalmo	638879	4234756	241	Cieza	127	114
Bajo Guadalentín	630244,2	4177296,3	247,42	Totana	132	116
Bajo Guadalentín	625425	4173586,8	261,47	Lorca	138	123
Bajo Guadalentín	640422,7	4187176,4	159,36	Alhama de Murcia	140	19
Alto Guadalentín	621147,5	4165305	287,69	Lorca	148	140
Alto Guadalentín	610290	4159036	362	Puerto Lumbreras	149	213
Sinclinal de Calasparra	633326,5	4244203,4	342,45	Cieza	187	156
Sinclinal de Calasparra	626046,8	4233750,5	237,69	Cieza	189	49
Sinclinal de Calasparra	633320,2	4244397,4	346,22	Cieza	194	152
Sinclinal de Calasparra	618808	4235150,8	254,74	Calasparra	199	56
Cubeta de Pulpí	612207,4	4145686,7	237,52	Lorca	210	28
Cajal	639178	4213235	259	Mula	217	42
Sierra Espuña	633691,5	4199356,5	511,48	Mula	219	292

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Nombre acuífero	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Nivel medio del acuífero	Profundidad del nivel medio del Acuífero
Alto Guadalentín	618246,4	4169386,5	304,75	Lorca	250	55
Alto Guadalentín	618241,5	4169315,7	305,38	Lorca	253	52
La Naveta	669291,1	4198005,7	332,37	Murcia	286	46
Anticlinal de Socovos	608478,5	4234216,4	362,1	Moratalla	289	73
Cajal	635696,8	4217026,6	371,04	Mula	295	76
Quibas	668008,1	4241352,4	499,81	Abanilla	318	182
Sierra Espuña	627698,3	4199618	512,1	Mula	324	189
Jumilla-Villena	655611,7	4261287,5	559,36	Jumilla	335	224
La Naveta	663342,6	4195759,8	342,43	Murcia	336	6
Jumilla-Villena	671590	4269395	570	Yecla	359	211
Serral-Salinas	668537,5	4258539,1	643,92	Yecla	362	282
Serral-Salinas	668687,1	4258618,7	639,67	Yecla	365	275
Jumilla-Villena	651367,4	4260104,4	541,82	Jumilla	377	165
Almirez	605897,2	4243966,3	476,36	Moratalla	393	83
Jumilla-Villena	662850	4270189	608	Yecla	396	212
Ricote	631871,1	4219594,9	590,12	Mula	467	123
Cingla-Cuchillo	662200	4276450	595	Yecla	497	98
Solsía	666851,6	4247316,4	598,9	Jumilla	533	66
Llano de las Cabras	623944,3	4185335,3	605,86	Aledo	538	68
Quípar	605111	4213499	589	Cehegín	542	47
Águilas-Cala Reona	622781,8	4141358,3	39,04	Águilas	544	-505
Llano de las Cabras	618922,6	4188199	734,21	Totana	549	185
Llano de las Cabras	622589,2	4185349,1	651,4	Aledo	555	97
Cingla-Cuchillo	653236,6	4276990,5	708,49	Yecla	565	143
Cingla-Cuchillo	653530,1	4277394,1	703,12	Yecla	565	138

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Nombre acuífero	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Nivel medio del acuífero	Profundidad del nivel medio del Acuífero
Pericay-Luchena	590703	4184537	714	Lorca	589	125
Bullas	614662	4209840	698	Bullas	608	90
Don Gonzalo-La Umbría	603980	4192999	799	Lorca	623	176
Tobarra-Tedera-Pinilla	615002,8	4277174,8	689,23	Tobarra	626	64
Gavilán	593842	4216332	808	Caravaca de la Cruz	672	136
Bullas	613628,6	4205506,8	778,97	Bullas	688	91
Burete	607755,8	4210745,8	771,05	Cehegín	695	76
Anticlinal de Socovos	589876	4231035	730	Moratalla	714	16
Sima	594749,9	4209741,3	786,3	Caravaca de la Cruz	745	42
Revolcadores-Serrata	589477	4208998	943	Caravaca de la Cruz	857	86
Revolcadores-Serrata	584616,3	4213343	904,51	Caravaca de la Cruz	880	25
Revolcadores-Serrata	586324,3	4216156,3	944,79	Caravaca de la Cruz	913	32
Revolcadores-Serrata	578139,9	4206404,3	1001,57	Caravaca de la Cruz	914	87

Tabla 6 Niveles medios de los Acuíferos de la Región de Murcia

Con los datos medios de los piezómetros se ha realizado una interpolación espacial “Ponderación inversa a la distancia” con el propósito de crear una cobertura de toda la región representando la profundidad media de los acuíferos en cada punto. En la interpolación se producían pendientes extremas por dos piezómetros cercanos con profundidades muy diferentes, pero en estos casos se ha asumido que el piezómetro más profundo corresponde con otra masa de agua que se encuentra por debajo del acuífero más superficial. Por lo tanto, estos piezómetros se quitaron para la interpolación final. Con esta cobertura se ha calculado la profundidad media del nivel freático de toda la región. Figura 20.

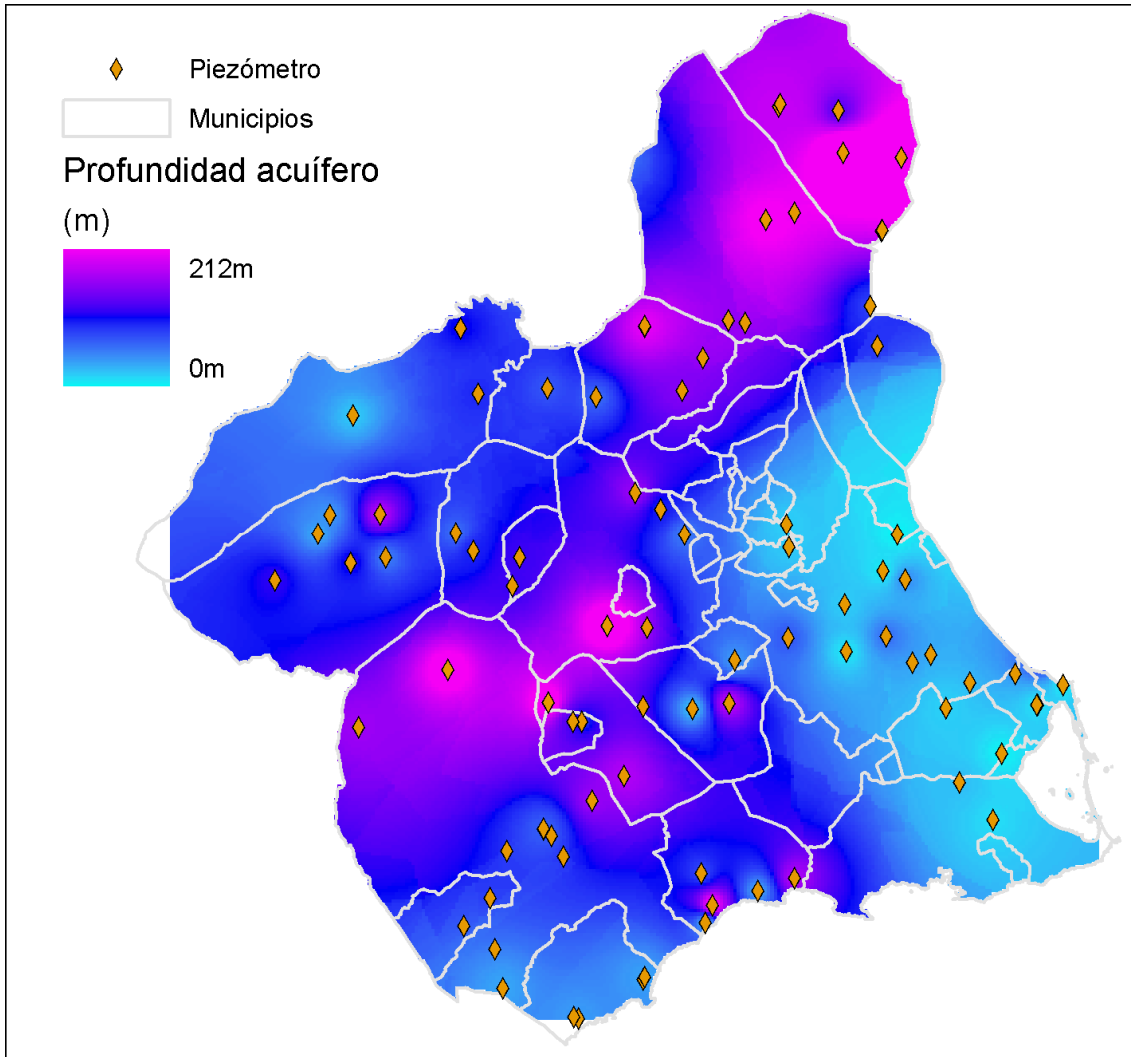


Figura 20 Mapa GIS Malla de Profundidad media de los Acuíferos

Para establecer el límite entre las zonas saturadas que afectan al presente proyecto se ha supuesto que las zonas donde los acuíferos poseen niveles medios por encima de los 30 metros de profundidad se consideran zonas saturadas, y por lo tanto aumentan la capacidad de extracción del calor de su litología, en cambio las zonas con niveles por debajo de los 30 metros, se consideran zonas secas y no afectadas por el nivel freático a este respecto¹⁶.

Se han representado los datos de los niveles de los piezómetros en un histograma (Gráfico 5), en el que observamos que casi el 30% de los piezómetros se encuentran a una profundidad media menor de 30 metros.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

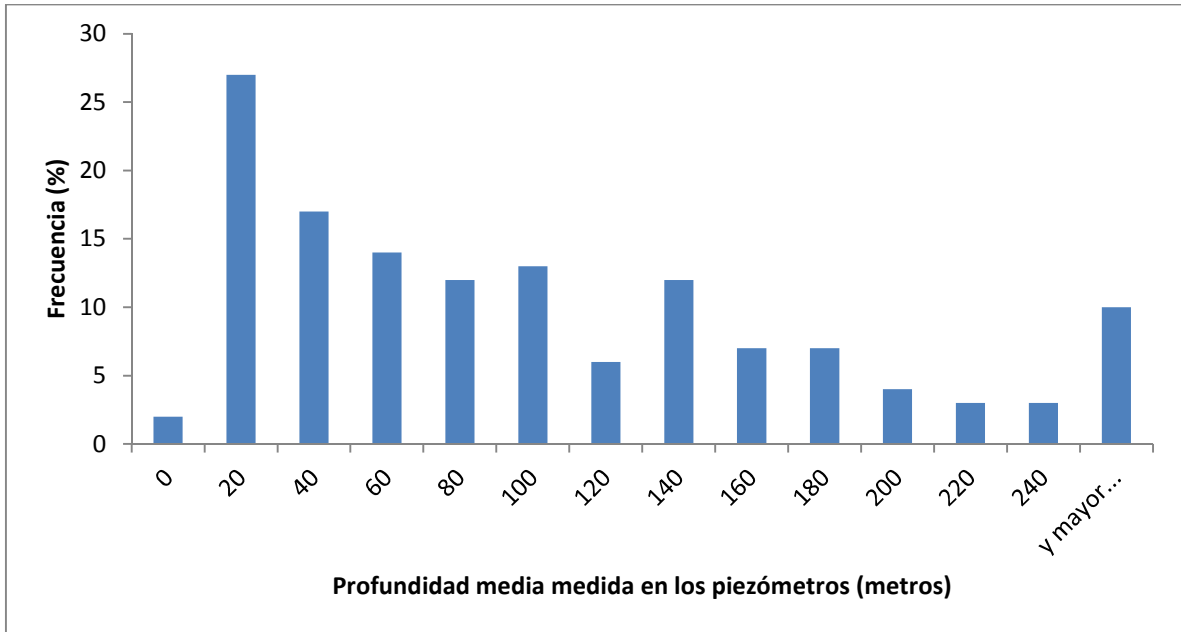


Gráfico 5 Histograma Niveles medios de los piezómetros

8.3. Clasificación de los terrenos en función de su capacidad de extracción de calor.

En la Tabla 7 se muestran una serie de valores estandarizados extraídos de la Norma alemana VDI4640. Estos valores de caudales de calor corresponden a una instalación con periodos de operación de 1800 y 2400 horas de funcionamiento anuales.

Según esta tabla, en litologías de gravas, arenas y limos, si los materiales están saturados de agua la extracción de calor será superior que si son no saturados.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Tipo de suelo	Caudal específico de extracción de calor	
	Periodo de operación 1 800 h	Periodo de operación 2 400 h
Valores indicativos generales:		
subsuelo pobre (sedimento seco y $\lambda < 1,5 \text{ W/(m K)}$)	25 W/m	20 W/m
subsuelo normal y sedimento saturado de agua $1,5 < \lambda < 3,0 \text{ W/(m K)}$	60 W/m	50 W/m
roca consolidada con conductividad térmica alta $\lambda > 3,0 \text{ W/(m K)}$	84 W/m	70 W/m
Tipos individuales de suelo:		
grava o arena seca	< 25 W/m	< 20 W/m
grava o arena saturada con agua	65 a 80 W/m	55 a 65 W/m
grava o arena y fuerte caudal de agua subterránea	80 a 100 W/m	80 a 100 W/m
arcilla húmeda	35 a 50 W/m	30 a 40 W/m
pedra caliza masiva	55 a 70 W/m	45 a 60 W/m
arenisca	65 a 80 W/m	55 a 65 W/m
silicio de magmatita (por ejemplo, granito)	65 a 85 W/m	55 a 70 W/m
magmatita básica (por ejemplo, basalto)	40 a 65 W/m	35 a 55 W/m
diorita	70 a 85 W/m	60 a 70 W/m
NOTA: Valores válidos para sistemas de bomba de calor con una potencia calorífica de hasta 30 kW.		

Tabla 7 Calor extraíble de las rocas según norma alemana VDI4640 parte 2

Se ha elaborado una nueva tabla para la litología específica de Murcia. A cada unidad litológica definida en la síntesis anterior se le ha asignado un grupo de capacidad de cesión de calor, en función de las propiedades físicas (térmicas e hidráulicas) de cada una de ellas. Se ha tenido presente por lo tanto, no sólo la capacidad térmica intrínseca sino también la presencia de agua en la roca. Esta tabla se ha estructurado en seis grandes grupos en la Tabla 8.

Grupo	Litología	Nivel agua	Capacidad Cesión de Calor
A	Arenas, gravas y limos	Muy secos Acuífero muy profundo	20 W/m
B	Arenas, gravas y limos	Acuífero superficial	80 W/m
C	Arcillas y margas	-	40 W/m
D	Rocas volcánicas	-	50 W/m
E	Calizas, dolomías, areniscas, conglomerados, calcarenitas	-	60 W/m
F	Rocas metamórficas como mármoles y esquistos y filitas	-	70 W/m

Tabla 8 Grupos de litologías establecidas para Murcia en función de las características térmicas de las rocas

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

En el caso de las litologías de Arenas, Gravas y Limos se han asignado dos valores por litología: los que corresponden a materiales saturados y los que corresponden a materiales no saturados para su posterior valoración y evaluación con GIS.

El mapa litológico muestra la distribución espacial de los afloramientos de las formaciones hidrogeológicas y litológicas. En el modelo, las propiedades termal de las formaciones que afloran han sido arbitrariamente extendidas hasta los 100 metros de profundidad. Esta aproximación se puede considerar fiable debido a la gran extensión del territorio.²

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Tipo de Roca	Litología	Grupo	sHE No saturado W/m	Grupo	sHE Saturado W/m
Volcánicas	Rocas volcánicas peralcalinas	D	50	D	50
	Lamproitas	D	50	D	50
	Ofitas y rocas volcanoclásticas (Ofitas del Keuper)	D	50	D	50
Sedimentarias	Arcillas abigarradas y yesos, a veces con margas y areniscas (F. Keuper)	C	40	C	40
	Arcillas y lutitas (a veces, con cantos y yesíferas), areniscas y conglomerados	C	40	C	40
	Arcillas, limos y cantos, turba (Depósitos de áreas endorreicas, dep. lacustres, turberas)	C	40	C	40
	Arenas y gravas (Cordones litorales y playas)	A	20	B	80
	Arenas, arcillas, gravas y conglomerados (F.Utrillas), a veces con dolomías (F.Ar.yArc.Segovia)	A	20	B	80
	Arenas, areniscas y calizas con Toucasias y orbitolinas	A	20	B	80
	Arenas, areniscas, arcillas, calizas y margas. Facies Purbeck	A	20	B	80
	Arenas, limos arenosos y arcillas amarillentas	A	20	B	80
	Arenas, margas y calizas	A	20	B	80
	Areniscas	E	60	E	60
	Areniscas silíceas hacia la base, y margas blancas a techo	E	60	E	60
	Areniscas, arenas, calizas arenosas, margas, arcillas y margocalizas	E	60	E	60
	Areniscas, conglomerados y calizas	E	60	E	60
	Areniscas, conglomerados y lutitas, rojos (Facies Buntsandstein)	E	60	E	60
	Bloques, cantos, arcillas (Depósitos glaciares, canchales, coluviones de montaña)	C	40	C	40
	Calcarenitas	E	60	E	60
	Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas	E	60	E	60
	Calizas (a veces nummulíticas), areniscas, conglomerados, margas y arcillas	E	60	E	60
	Calizas con nummulites, margas y areniscas	E	60	E	60
	Calizas con nummulites, margas y areniscas	E	60	E	60
	Calizas de algas, y margas blancas	E	60	E	60
	Calizas generalmente oolíticas, con nódulos de sílex y, a veces, margas (Fm.Carb. de Chelva)	E	60	E	60
	Calizas oncolíticas y pisolíticas	E	60	E	60
Calizas oquerosas rojizas y margas blancas	E	60	E	60	

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Tipo de Roca	Litología	Grupo	sHE No saturado W/m	Grupo	sHE Saturado W/m
	Calizas y margas	E	60	E	60
	Calizas, calcarenitas, areniscas, margas y limos	E	60	E	60
	Calizas, calizas con sílex, margocalizas, margas y margocalizas, con coladas basálticas	E	60	E	60
	Calizas, calizas margosas y margas	E	60	E	60
	Calizas, calizas oolíticas, margas, brechas y dolomías	E	60	E	60
	Calizas, dolomías y margas	E	60	E	60
	Calizas, dolomías y margas	E	60	E	60
	Calizas, dolomías y mármoles	E	60	E	60
	Calizas, dolomías, arcillas, areniscas y margas abigarradas. Facies Weald	E	60	E	60
	Calizas, dolomías, brechas dolomíticas y margas	E	60	E	60
	Calizas, dolomías, margas (Dol. Villa de Ves, Caballar; F. Tabladillo, Hontoria, Mgas. Chera)	E	60	E	60
	Calizas, margas y areniscas	E	60	E	60
	Calizas, margas, arcillas y areniscas	E	60	E	60
	Calizas, margas, arenas silíceas, arcillas, calcarenitas, margocalizas	E	60	E	60
	Calizas, margas, areniscas y limolitas	E	60	E	60
	Calizas, margas, limolitas, areniscas y conglomerados	E	60	E	60
	Calizas, margas, margocalizas, calcarenitas, calizas nodulosas y calizas oolíticas	E	60	E	60
	Conglomerados poligónicos, areniscas y arcillas rojas	E	60	E	60
	Conglomerados y areniscas, con arcillas y limos rojos	E	60	E	60
	Conglomerados y calizas travertínicas	E	60	E	60
	Conglomerados, arenas y limos	E	60	E	60
	Conglomerados, arenas y limos	E	60	E	60
	Conglomerados, arenas, arcillas, calizas y yesos	E	60	E	60
	Conglomerados, arenas, arcillas, calizas, travertinos y yesos (Facies fluviolacustres)	E	60	E	60
	Conglomerados, areniscas y lutitas	E	60	E	60
	Conglomerados, areniscas y lutitas (Flysch)	E	60	E	60
	Conglomerados, areniscas, lutitas, margas, calizas y lignitos	E	60	E	60

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Tipo de Roca	Litología	Grupo	sHE No saturado W/m	Grupo	sHE Saturado W/m
	Conglomerados, brechas calcáreas, calcarenitas, areniscas y arenas (Facies de borde)	E	60	E	60
	Conglomerados, grauvacas, pizarras y areniscas	E	60	E	60
	Conglomerados, gravas, arenas y limos (Formación Roja)	E	60	E	60
	Dolomías	E	60	E	60
	Dolomías, calizas y margas	E	60	E	60
	Dolomías	E	60	E	60
	Dolomías y, eventualmente, calizas	E	60	E	60
	Dolomías, brechas dolomíticas, carniolas y calizas en bancos	E	60	E	60
	Dolomías, calizas oolíticas y margocalizas	E	60	E	60
	Dolomías, calizas y arenas	E	60	E	60
	Dolomías, calizas y margas(F. Muschelkalk)	E	60	E	60
	Gravas cuarcíticas, arenas silíceas y arcillas (Depósitos de raras y otros aluviales finineógenos)	A	20	B	80
	Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glaciares, piedemonte y superficies)	A	20	B	80
	Gravas, arenas, limos y arcillas (Depósitos de terrazas medias y altas)	A	20	B	80
	Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos princ.)	A	20	B	80
	Limos, arcillas, materia orgánica y sales (Depósitos de estuario, marismas y sedim. Litorales)	A	20	B	80
	Lutitas, areniscas, conglomerados y tobas volcánicas	E	60	E	60
	Margas ("Azules"), areniscas, arenas y, a veces, yesos	C	40	C	40
	Margas ("Margas Azules")	C	40	C	40
	Margas color salmón y margocalizas con sílex; margas blancas, verdes y rojas con int.calcareas.	C	40	C	40
	Margas y margocalizas	C	40	C	40
	Margas y margocalizas	C	40	C	40
	Margas y margocalizas, a veces con arenas	C	40	C	40
	Margas, arcillas, yesos, conglomerados, areniscas	C	40	C	40
	Margas, calizas bioclásticas y margosas. Fm. Margas Cerro del Pez, etc.	C	40	C	40
	Margas, calizas y margocalizas	C	40	C	40
	Margas, calizas, calizas bioclásticas y/o arenosas y areniscas	C	40	C	40

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Tipo de Roca	Litología	Grupo	sHE No saturado W/m	Grupo	sHE Saturado W/m
	Margas, margocalizas, radiolaritas y rocas volcánicas	C	40	C	40
Metamórficas	Filitas, cuarcitas, micasquistos y yesos	F	70	F	70
	Yesos, margas, arcillas y calizas	F	70	F	70
	Turbiditas	F	70	F	70
	Travertinos	F	70	F	70
	Mármoles	F	70	F	70
	Metabasitas (diabasas, serpentinitas,anfibolitas)	F	70	F	70
	Micasquistos, cuarcitas y gneises	F	70	F	70
	Mármoles	F	70	F	70
	Pizarras oscuras con interc.de aren., cuarc.y sills basálticos	F	60	F	60
	Pizarras, limolitas y cuarcitas	F	60	F	60
Otros	Unidad olistostrómica-tectonosómica	D	50	D	50
	Masa de agua superficial	-	0	-	0
	Masa de agua superficial	-	0	-	0
	Masa de agua superficial	-	0	-	0

Tabla 9 Valores de extracción de calor por cada tipo de litología presente en la Región de Murcia

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Con la tabla de referencia (Tabla 9), se asignó a cada entrada de la clasificación del mapa litológico un valor de calor específico para la roca en condiciones no saturadas, y un valor para condiciones saturadas. Con este proceso se han obtenido 2 capas que representen el calor específico bajo las condiciones respectivas. Para calcular el calor específico representativo medio para cada punto del mapa se ha tomado en cuenta que el espesor de la zona no saturada y de la zona saturada es diferente en cada punto. Por lo tanto, con el mapa de la profundidad del acuífero, se ha creado una capa del espesor de la zona no saturada y una capa de la zona saturada, hasta un máximo 100 metros de profundidad. Con estas dos capas de espesor se ha hecho la media ponderada para llegar al calor específico medio, según la siguiente fórmula:

$$sHE_{medio} = \frac{(sHE_{no\ sat} \cdot Espesor_{no\ sat}) + (sHE_{sat} \cdot Espesor_{sat})}{100}$$

sHE_{medio} Calor específico extraíble medio para cada punto del mapa en W/m.

$sHE_{no\ sat}$ Calor específico extraíble para cada punto de la zona no saturada en W/m.

$Espesor_{no\ sat}$ Espesor para cada punto de la zona no saturada en metros.

sHE_{sat} Calor específico extraíble de para cada punto de la zona saturada en W/m.

$Espesor_{sat}$ Espesor para cada punto de la zona saturada en metros.

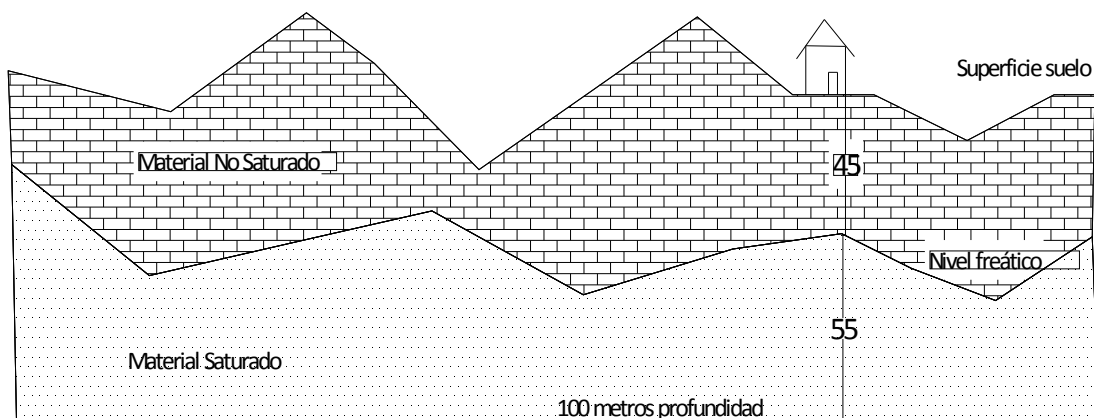


Figura 21 Perfil longitudinal tipo del subsuelo

Con los valores obtenidos para cada punto, se ha permitido elaborar el Mapa de Capacidad de Extracción o Cesión de Calor de las rocas presentes en el subsuelo de Murcia. Figura 22.

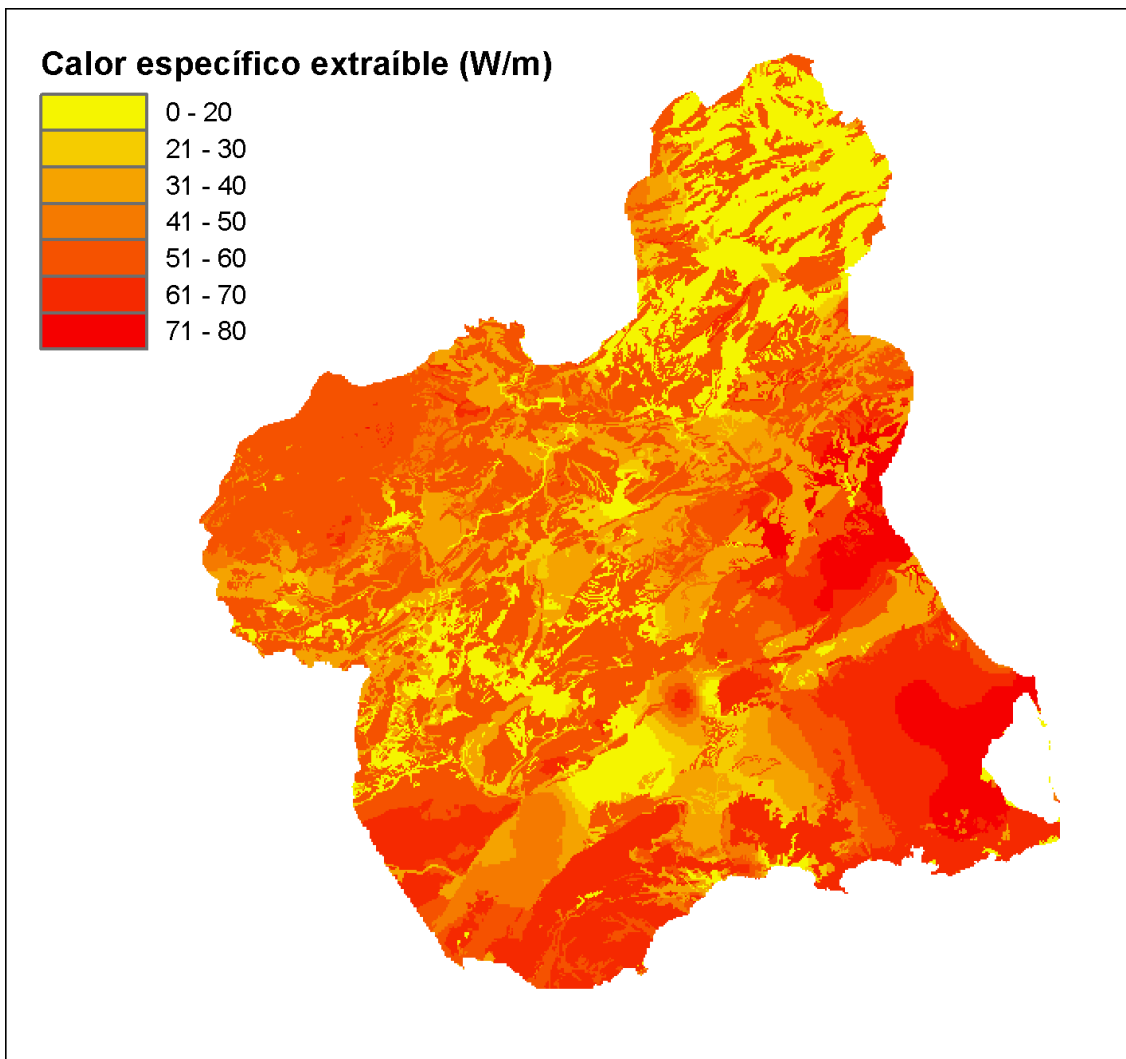


Figura 22 Mapa GIS Calor de Extracción de la Región de Murcia

Las zonas de máximo potencial geotérmico somero quedan reflejadas con el tono más oscuro de rojo. Estas zonas coinciden con litologías de gravas, arenas y limos con los niveles de acuíferos más superficiales.

A las grandes extensiones con litologías de arenas, gravas o limos se les ha asignado un valor de calor extraíble de 20 W/m, cuando el acuífero está muy profundo, y de 80 W/m cuando el acuífero es superficial está entre la superficie y los 30 metros de profundidad. Así mismo, a las zonas donde el acuífero presenta un rango de profundidad 31-50 metros, se les ha asignado un valor intermedio en proporción directa a la profundidad del mismo.

Aunque posteriormente se realizará un estudio de los datos obtenidos por municipios, a simple vista observamos que las zonas con mayor potencial se encuentran en el Campo de Cartagena y en la ciudad de Murcia y alrededores.

Si ordenamos los datos obtenidos en un histograma (Gráfico 6), observamos que de casi el 40% de la Región podemos extraer un nivel medio de calor del subsuelo de 60 W/m, más de un 15%

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

lo tiene de 70 W/m y casi un 5% de 80 W/m. Valores entre 20 y 50 podemos encontrar en el 40% restante de superficie. La superficie total de la Región de Murcia es de 11. 313 Km².

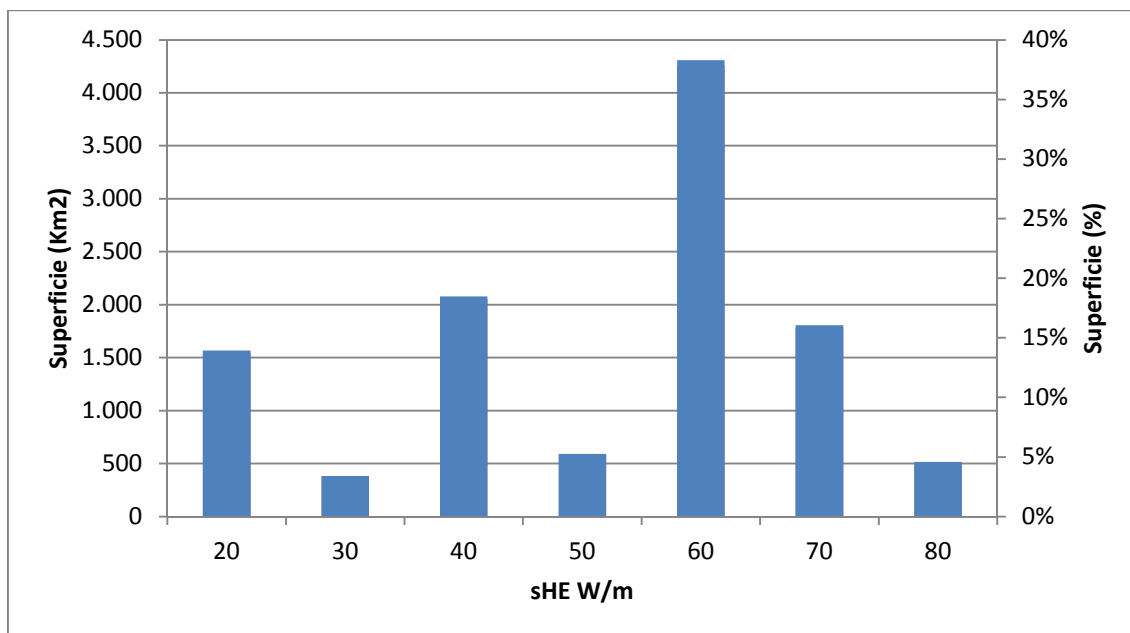


Gráfico 6 Histograma de los valores de calor extraíble

Posteriormente se ha realizado una media de los valores de calor específico de extracción por municipio con cuyos datos se ha realizado una capa GIS con los datos obtenidos. Figura 23.

Este dato no es muy representativo para aquellos municipios de mayor extensión pero en general permite obtener datos significativos y comparar valores de los distintos municipios para estudiar la viabilidad en cada uno de ellos.

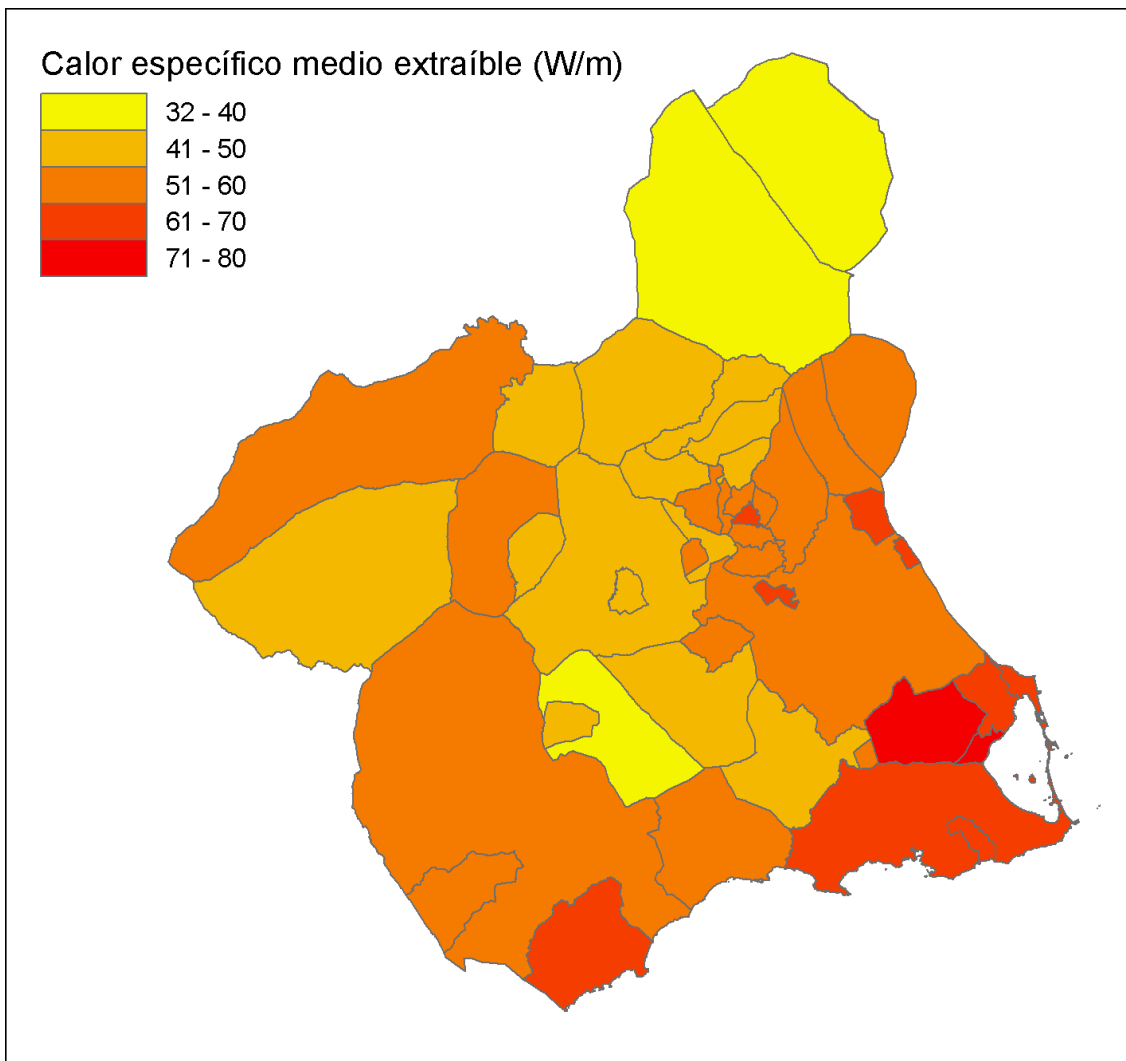


Figura 23 Mapa GIS Calor Extracción medio por Municipios

Observando el mapa vemos que el municipio de Torre Pacheco es el que de media presenta el calor extraíble más elevado, seguido de los municipios cercanos al Mar Menor con un freático superficial. Le siguen Fuente Álamo y Alhama que presentan en su mayoría el mismo tipo de litología que las anteriores aunque con freáticos algo más profundos.

Los municipios de Jumilla, Yecla y Totana poseen la media de calor extraíble más baja de la Región. Su litología se compone básicamente de calizas y gravas y arenas secas con el acuífero bastante profundo.

Podemos observar el ranking de los municipios de menor a mayor calor específico de extracción en el Gráfico 7.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

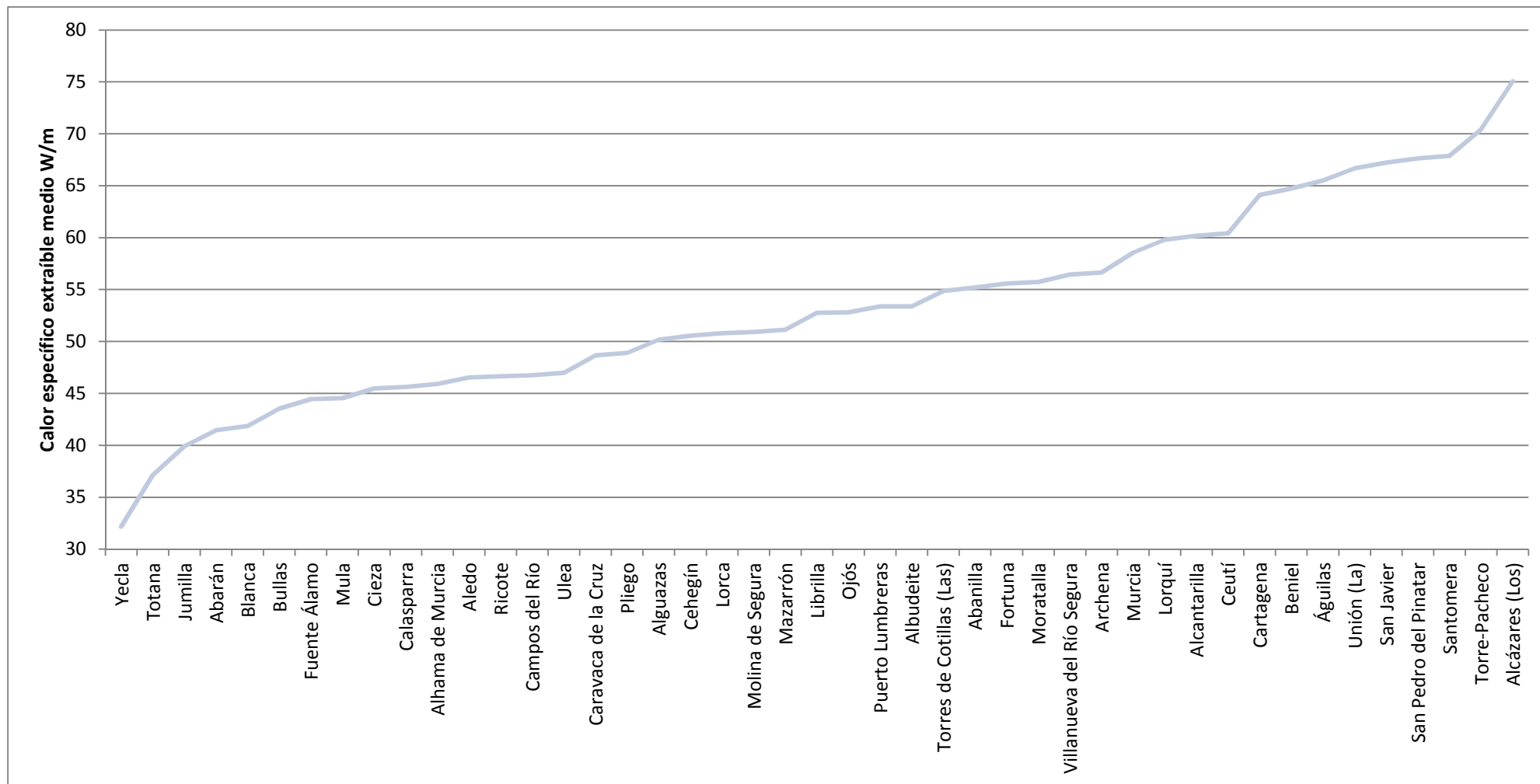


Gráfico 7 Calor específico extraíble medio por municipios

9. Marco Energético – Económico

En este apartado se describe el procedimiento para calcular los indicadores de apoyo para una evaluación económica de la energía geotérmica de muy baja entalpía en la Región de Murcia. Esta evaluación se ha realizado por segmentación geográfica, basada en los límites de los municipios, para construir un modelo económico de la Región. Este modelo actúa como herramienta de apoyo a la decisión para destacar las oportunidades de inversión en el campo de las energías renovables.

Con la ayuda de las funciones de GIS, como las estadísticas con capas vectoriales, y con los datos obtenidos, se ha realizado la media de los mismos para cada municipio. Posteriormente, los indicadores económicos han sido calculados y representados en una capa GIS.

Para un mejor seguimiento de la metodología aplicada, sirva como guía el resumen del apartado 1.1.

9.1. Demanda Energética

El diseño y cálculo de una instalación con bomba de calor geotérmica (BCG) está directa e íntimamente ligada al proyecto de climatización del edificio o vivienda, ya que es dicho proyecto de climatización, y en su caso de ACS, el que aporta varios de los parámetros fundamentales sobre los que trabajar, como las cargas y las demandas térmicas del edificio.

Como es imposible determinar las cargas térmicas particulares para cada edificio o vivienda, se va a realizar un cálculo estimativo de dichos parámetros por municipios. Para partir de unas referencias objetivas, se estimarán las demandas térmicas anuales en función de parámetros externos como son la climatología y la altitud. Es claro que, en la práctica, para cada proyecto de instalación de BCG en particular será necesario el cálculo de las cargas para cada caso.

Para un correcto redimensionado de la instalación, no podemos hablar de un cálculo de cargas y demandas como tal, sino que estudiamos el tipo de edificación, la superficie a climatizar, las necesidades de calefacción, refrigeración, ambas y la producción de agua caliente sanitaria.

Para un mejor seguimiento de la metodología aplicada para el cálculo de la Demanda Energética por municipio, sirva de guía el siguiente esquema del Gráfico 8.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

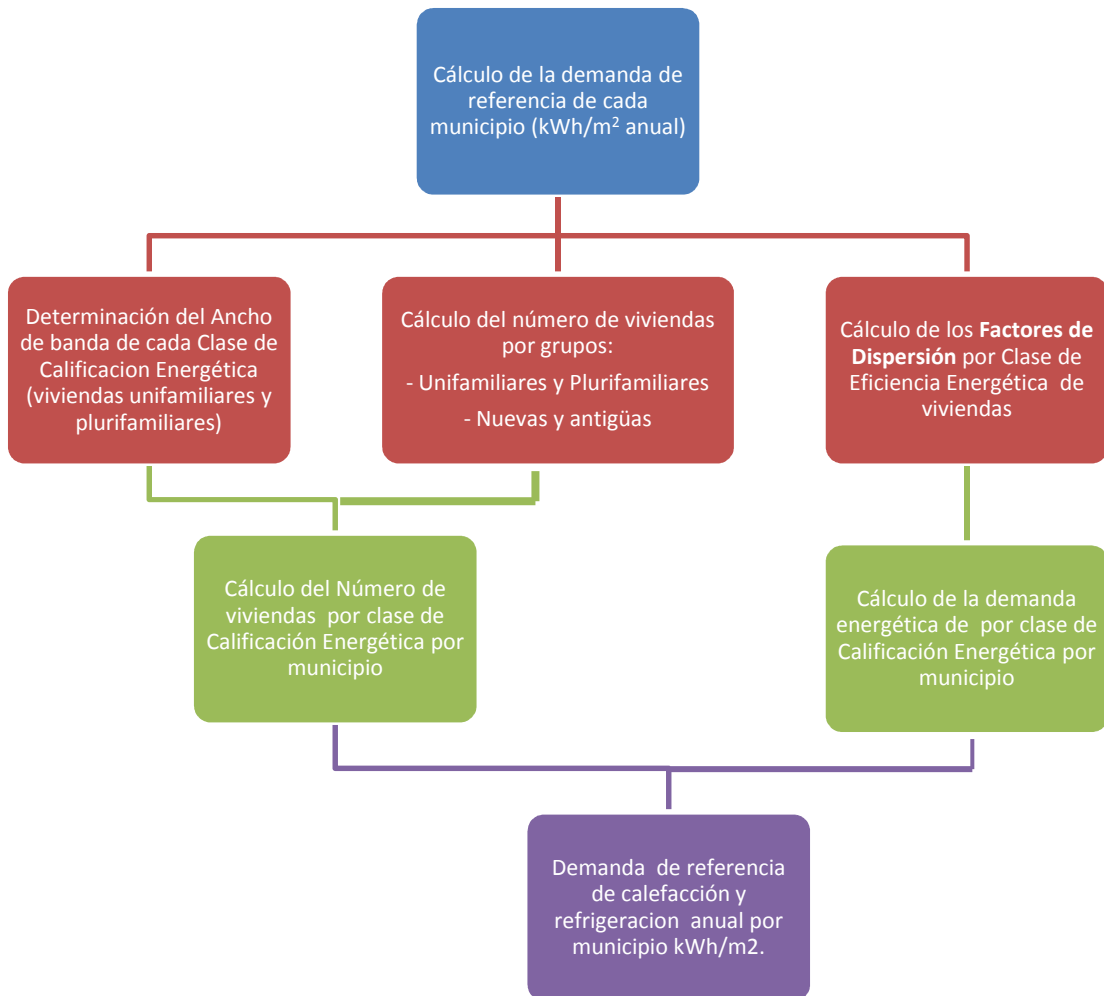


Gráfico 8 Esquema de la metodología Cálculo de la Demanda Energética por Municipio

9.1.1 Cálculo de las demandas energéticas de referencia por municipio

En el Documento de condiciones de aceptación de Programa Informáticos Alternativos de idea, se redacta un procedimiento para determinar los valores de referencia de las demandas de calefacción, refrigeración y ACS; tanto para la vivienda unifamiliar como plurifamiliar, y para las localidades que no sean capital de provincia en función de la zona climática en la que se encuentran.

Según esta metodología, tanto la demanda de calefacción como la demanda de refrigeración pueden obtenerse para cada capital de municipio conociendo su zona climática y asignándole posteriormente los valores correspondientes de las Severidades Climáticas de invierno (SCI) y de verano (SCV) que le corresponden a cada una. Las 12 zonas climáticas se identifican mediante una letra, correspondiente a la severidad del invierno, y un número, correspondiente a la severidad del verano, como se muestra en la Figura 24.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

SC (verano)	A4	B4	C4		E1
	A3	B3	C3	D3	
			C2	D2	
			C1	D1	
SC (invierno)					

Figura 24 Zonas climáticas según CTE

Por tanto, el primer paso es asignarle una zona climática a cada capital de municipio, y para ello se utiliza la Tabla 1 del Documento Básico HE “Ahorro de Energía” del CTE en su Apéndice D, Tabla 10 en el presente documento. Primero se han obtenido las altitudes de cada localidad en m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) y posteriormente se ha obtenido la diferencia en altura de cada localidad con la ciudad de Murcia. Con este valor se puede obtener la zona climática para cada localidad.

Como muestra la Tabla 10, la zona climática de referencia de Murcia es la B3.

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Diferencia entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 10 Zonas climáticas según CTE

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Una vez obtenidas las zonas climáticas para cada localidad, se les ha asignado un valor de SCI y SCV a cada una.

Mediante las formulas 1 y 2, y con los valores de la Tabla 11 y Tabla 12, podemos calcular las demandas de calefacción y refrigeración de referencia para cada localidad en viviendas unifamiliares y plurifamiliares.

$$\text{Demanda de calefacción de referencia} = a + (b \cdot \text{SCI}) \quad (1)$$

$$\text{Demanda de refrigeración de referencia} = a + (b \cdot \text{SCV}) \quad (2)$$

	a	b
Viviendas unifamiliares	9.29	54.98
Bloques de viviendas	3.51	39.57

Tabla 11 Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción de referencia, a partir de la SCI

	a	b
Viviendas unifamiliares	-4.24	20.41
Bloques de viviendas	-3.44	14.44

Tabla 12 Coeficientes de correlación para la demanda de refrigeración de referencia a partir de la SCV

Finalmente los datos obtenidos para las demandas de refrigeración y calefacción para viviendas en bloque y unifamiliares para viviendas de nueva construcción se recogen en la Tabla 13.

Municipio	Altitud msnm	Desnivel con Murcia	Zona	SCI	SCV	Calefacción kWh/m ²		Refrigeración kWh/m ²	
						Unifam.	Plurif.	Unifam.	Plurif.
Abanilla	201	158	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Abarán	400	357	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
Águilas	21	-22	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Albudeite	181	138	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Alcantarilla	62	19	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Alcázares (Los)	6	-37	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Aledo	625	582	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89
Alguazas	86	43	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Alhama de Murcia	176	133	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Archena	102	59	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Beniel	29	-14	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Blanca	233	190	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Bullas	650	607	D1	1,12	0,3	70,87	47,83	1,88	0,89
Calasparra	350	307	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Campos del Río	172	129	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Caravaca de la Cruz	625	582	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89
Cartagena	10	-33	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Cehegín	570	527	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89
Ceutí	62	19	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Cieza	188	145	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Fortuna	192	149	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Fuente Álamo	127	84	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Jumilla	510	467	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89
Librilla	119	76	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Lorca	353	310	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
Lorquí	89	46	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Mazarrón	55	12	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Molina de Segura	125	82	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Moratalla	681	638	D1	1,12	0,3	70,87	47,83	1,88	0,89
Mula	313	270	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
Murcia	43	0	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Ojós	122	79	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Pliego	308	265	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
Puerto Lumbreras	465	422	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89
Ricote	293	250	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
San Javier	4	-39	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
San Pedro del Pinatar	13	-30	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Santomera	35	-8	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Torre-Pacheco	40	-3	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Torres de Cotillas (Las)	82	39	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Totana	255	212	C2	0,75	0,75	50,53	33,19	11,07	7,39
Ulea	126	83	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Unión (La)	86	43	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Villanueva del Río Segura	135	92	B3	0,45	1,075	34,03	21,32	17,70	12,08
Yecla	602	559	C1	0,75	0,3	50,53	33,19	1,88	0,89

Tabla 13 Demandas de calefacción y refrigeración de referencia para las capitales de los municipios

La demanda de ACS se calcula siguiendo el Documento Básico HE4 y la norma UNE-EN 94002:2004. En el caso que nos ocupa supondremos que el ACS se consigue mediante un sistema no basado en efecto Joule y que el consumo de agua de la vivienda es inferior a 5.000 l/día.

Las características que posee una vivienda tipo de la región se han obtenido del Centro de Estadística de la Región de Murcia. Con ello podremos calcular su demanda de ACS según la HE4. Se sabe que del parque de viviendas de la región, el 22% son viviendas unifamiliares y el 88% son viviendas en bloque, por tanto la demanda de agua en litros de una vivienda de la región se calcula de la siguiente forma:

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Criterio de demanda	Litros ACS a 60°C/día	Porcentaje	Litros	Total
Viviendas unifamiliares	30 por persona	22%	7,26	26,62 l ACS/día a 60°C
Viviendas multifamiliares	22 por persona	88%	19,36	

Conocidos los datos de población y número de viviendas por municipio, sabemos cuántas personas de media viven por vivienda en cada municipio. Tabla 14. Aunque para simplificar, se ha tomado la media de habitantes por vivienda de la región, esto es, 2 personas por vivienda.

Población	Núm habitantes	Viviendas	Numero medio personas por vivienda
MURCIA (Región de)	1.461.979	592785	2
Abanilla	6.585	3198	2
Abarán	12.974	5783	2
Águilas	34.900	17179	2
Albudeite	1.350	665	2
Alcantarilla	41.326	13941	3
Alcázares (Los)	15.993	20710	1
Aledo	1.053	657	2
Alguazas	9.146	2826	3
Alhama de Murcia	20.269	7109	3
Archena	18.135	5794	3
Beniel	11.027	2880	4
Blanca	6.456	2813	2
Bullas	12.424	4791	3
Calasparra	10.851	4449	2
Campos del Río	2.169	919	2
Caravaca de la Cruz	26.449	10750	2
Cartagena	214.165	102045	2
Cehegín	16.299	6325	3
Ceutí	10.448	2988	3
Cieza	35.385	15400	2
Fortuna	9.813	4210	2
Fuente Álamo	15.193	5723	3
Jumilla	26.015	9100	3
Librilla	4.614	2060	2
Lorca	92.694	30270	3
Lorquí	7.038	2284	3
Mazarrón	35.464	22536	2
Molina de Segura	65.815	19758	3
Moratalla	8.444	5376	2
Mula	17.076	6269	3
Murcia	441.345	148850	3
Ojós	582	327	2
Pliego	4.045	1720	2
Puerto Lumbreras	14.120	5237	3
Ricote	1.441	829	2
San Javier	31.820	30063	1
San Pedro del Pinatar	23.903	16323	1

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Santomera	15.481	4906	3
Torre-Pacheco	32.471	9460	3
Torres de Cotillas (Las)	21.282	6245	3
Totana	29.333	10941	3
Ulea	921	420	2
Unión (La)	18.366	5407	3
Villanueva del Río Segura	2.354	657	4
Yecla	34.945	12592	3

Tabla 14 Numero medio de personas que habitan en una vivienda por municipios

Conocida la temperatura media del agua de red de la Región, estamos en posesión de todos los datos para calcular la demanda de ACS según HE4. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 15.

	Días/mes	Ocupación	Consumo litros	Temp red °C	Demanda ACS kWh
Enero	31	1	1.650	8	99,77
Febrero	28	1	1.491	9	88,38
Marzo	31	1	1.650	11	94,01
Abril	30	1	1.597	13	87,27
Mayo	31	1	1.650	14	88,26
Junio	30	1	1.597	15	83,55
Julio	31	1	1.650	16	84,42
Agosto	31	1	1.650	15	86,34
Septiembre	30	1	1.597	14	85,41
Octubre	31	1	1.650	13	90,18
Noviembre	30	1	1.597	11	90,98
Diciembre	31	1	1.650	8	99,77
TOTAL			19.433		1.078,34 año

Tabla 15 Demanda energética para ACS de la vivienda tipo de la región

9.1.2. Cálculo de la demanda de referencia energética de las viviendas por clase de calificación energética.

Las demandas energéticas obtenidas en el apartado anterior son demandas de referencia para una vivienda tipo. Dentro del parque de viviendas de la Región, podemos encontrar aquellas que demandan más energía que la de referencia, y tienen por tanto una calificación energética muy baja, y aquellas nuevas que demandan menos energía y tienen una mejor calificación energética. Por esto se hace necesario hacer una clasificación de la calificación energética del parque de viviendas de la Región, y calcular la demanda de energía de cada una.

En el Anexo 1 del Documento *Escala de Calificación Energética* desarrollada por IDAE, se encuentran unas tablas de dispersión de indicadores de eficiencia energética, Tabla 17 y Tabla 18, que permiten calcular las demandas energéticas de los edificios destinados a viviendas según su calificación energética a partir de las demandas de referencia de cada municipio.

Este indicador, denominado **Índice de Eficiencia Energética IEE** es calculado mediante la siguiente relación $I_{\text{objeto}}/I_{\text{Reglamentacion}}$ que depende de R y C₁ mediante la siguiente fórmula:

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

$$\frac{I_{\text{objeto}}}{I_{\text{Reglamentación}}} = \frac{I + (C_1 - 0.6) * 2(R - I)}{R}$$

R dependerá en general de la localidad y del concepto a evaluar: demanda de calefacción, de refrigeración, emisiones de calefacción, de refrigeración. C_1 dependerá exclusivamente del límite entre clases que estamos considerando.

Los valores de C_1 , son los índices de calificación energética para viviendas de nueva construcción para las clases de eficiencia de la A a la D. Estos límites se han prolongado hasta la clase F con el objetivo de incluir las viviendas antiguas (poseen peor calificación energética) simplemente realizando un aumento progresivo de los mismos, quedando de la siguiente forma.

Clase Eficiencia Energética	C_1
A	0,15
B	0,50
C	1,00
D	1,75
E	2,75
F	4

Tabla 16 Índices de eficiencia energética para viviendas

Los valores de Dispersión, R se obtienen de la Tabla 17 y Tabla 18.

Zona Climática de Invierno	R para demanda de calefacción	
	Viviendas Unifamiliares	Viviendas en Bloque
A	1.7	1.7
B	1.6	1.7
C	1.5	1.7
D	1.5	1.7
E	1.4	1.7

Tabla 17 Dispersión del indicador de eficiencia energética para la demanda de calefacción

Zona Climática de Verano	R para demanda de refrigeración	
	Viviendas Unifamiliares	Viviendas en Bloque
1	–	–
2	1.5	1.6
3	1.4	1.5
4	1.4	1.5

Tabla 18 Dispersión del indicador de eficiencia energética para la demanda de refrigeración

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

En función de la zona climática de cada capital de municipio se le asigna un valor de R distinto tanto para calefacción como refrigeración.

Conocidos R y C_1 se ha calculado los valores de dispersión resultado de la relación $I_{objeto}/I_{Reglamentacion}$, que nos ofrecen unos valores de dispersión para cada zona climática y para cada calificación energética de cada vivienda. Tabla 19.

Clase	C1	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
A	0,15	0,45	0,41	0,37	0,31	0,25	0,18
B	0,5	0,74	0,68	0,60	0,51	0,42	0,30
C	1	1,15	1,05	0,93	0,80	0,65	0,47
D	1,75	1,77	1,61	1,43	1,23	0,99	0,72
E	2,75	2,59	2,36	2,10	1,80	1,45	1,05
F	4	3,62	3,30	2,93	2,51	2,03	1,47

Tabla 19 Valores de los Índices de Dispersión energética IEE

Mediante la utilización de estos índices, se han obtenido finalmente unos valores de demanda para calefacción y refrigeración para cada uno de los municipios de la región atendiendo a la calificación energética de cada una de las viviendas, Tabla 20.

Las casillas en blanco en la sección de demanda de refrigeración pertenecen a una zona climática donde la demanda de refrigeración es nula a lo largo del año.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Demanda de Calefacción kWh/m ² anual												Demanda de Refrigeración kWh/m ² anual											
	Unifamiliar						Plurifamiliar						Unifamiliar						Plurifamiliar					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Abanilla	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	14,4	22,4	34,4	50,4	70,3	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Abarán	18,5	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Águilas	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Albudeite	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Alcantarilla	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Alcázares (Los)	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Aledo	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4												
Alguazas	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Alhama de Murcia	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Archena	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Beniel	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Blanca	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Bullas	32,1	52,5	81,7	125,5	183,8	256,8	17,5	28,7	44,6	68,6	100,4	140,3												
Calasparra	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Campos del Río	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Caravaca de la Cruz	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	13,7	24,6	38,3	58,8	86,1	120,3												
Cartagena	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Cehegín	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4												
Ceutí	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Cieza	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Fortuna	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Fuente Álamo	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Jumilla	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4												
Librilla	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Demanda de Calefacción kWh/m ² anual												Demanda de Refrigeración kWh/m ² anual											
	Unifamiliar						Plurifamiliar						Unifamiliar						Plurifamiliar					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Lorca	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Lorquí	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Mazarrón	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Molina de Segura	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Moratala	32,1	52,5	81,7	125,5	183,8	256,8	17,5	28,7	44,6	68,6	100,4	140,3												
Mula	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	13,7	24,6	38,3	58,8	86,1	120,3	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Murcia	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Ojós	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Pliego	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Puerto Lumbreras	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4												
Ricote	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
San Javier	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
San Pedro del Pinatar	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Santomera	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Torre-Pacheco	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Torres de Cotillas (Las)	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Totana	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	47,6	69,7	97,4	4,6	7,5	11,6	17,8	26,1	36,5	2,7	4,4	6,9	10,6	15,5	21,7
Ulea	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Unión (La)	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Villanueva del Río Segura	15,4	25,2	39,2	60,3	88,3	123,3	8,8	15,8	24,6	37,7	55,3	77,2	6,5	10,6	16,5	25,4	37,2	51,9	3,8	6,2	9,7	14,8	21,7	30,4
Yecla	22,9	37,4	58,3	89,5	131,1	183,1	12,2	19,9	31,0	58,8	86,1	120,3												

Tabla 20 Demandas energéticas de calefacción y refrigeración por calificación energética de la vivienda y por municipio

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

9.1.3. Características de las viviendas de la Región de Murcia

Una vez determinados los valores de demandas energéticas, estimadas por clase de calificación energética para cada municipio, debemos conocer las características del parque de viviendas de la Región de Murcia para determinar a qué clases de calificación energética y en qué cantidad pertenecen las viviendas de Murcia.

Extraído de la Guía de IDAE de *Escala de Calificación Energética para edificios destinados a viviendas*, se ha supuesto que los edificios de nueva construcción son los construidos a partir de 2006, año en que se publicó la CTE. Pero también se supone que las viviendas construidas entre los años 1991-2000 tienen las mismas características que estos últimos. Por tanto, para este proyecto se asume que los edificios de nueva construcción son los construidos desde 1991 hasta la actualidad y los antiguos, los construidos anteriormente.

Estos datos han sido obtenidos del CREM, centro Regional de Estadística de la Región de Murcia, donde los datos de las viviendas de nueva construcción están actualizados solo hasta el año 2001, y donde no se discrimina del total de viviendas cuántas son unifamiliares y cuántas plurifamiliares.

En cambio, sí se dispone de datos diferenciados en los dos grupos de las viviendas de nueva construcción entre los años 2004 y 2009, de los que se extrae que el 19% de las viviendas construidas son unifamiliares y 81% en bloque. Teniendo en cuenta que antiguamente se construían más casas unifamiliares que en bloque, se ha asumido que el 25% de las casas existentes son unifamiliares y el 75% en bloque; para las viviendas de nueva construcción se ha tomado el dato obtenido del período 2004-2009.

Por tanto, el número de viviendas existentes y nuevas clasificado por viviendas unifamiliares y plurifamiliares se muestra en la Tabla 21.

Municipio	Edificios existentes			Edificios nuevos		
	Total	Unifamiliar	Bloque	Total	Unifamiliar	Bloque
Abanilla	1.845	461	1.384	1.353	271	1.082
Abarán	3.432	858	2.574	2.351	470	1.881
Águilas	6.891	1.723	5.168	10.288	2.058	8.230
Albudeite	379	95	284	286	57	229
Alcantarilla	8.670	2.168	6.503	5.271	1.054	4.217
Alcázares (Los)	1.148	287	861	19.562	3.912	15.650
Aledo	270	68	203	387	77	310
Alguazas	1.956	489	1.467	870	174	696
Alhama de Murcia	4.242	1.061	3.182	2.867	573	2.294
Archena	3.802	951	2.852	1.992	398	1.594
Beniel	1.936	484	1.452	944	189	755
Blanca	1.666	417	1.250	1.147	229	918
Bullas	2.989	747	2.242	1.802	360	1.442
Calasparra	2.586	647	1.940	1.863	373	1.490
Campos del Río	533	133	400	386	77	309
Caravaca de la Cruz	6.163	1.541	4.622	4.587	917	3.670
Cartagena	48.628	12.157	36.471	53.417	10.683	42.734

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Cehegín	3.935	984	2.951	2.390	478	1.912
Ceutí	1.710	428	1.283	1.278	256	1.022
Cieza	8.462	2.116	6.347	6.938	1.388	5.550
Fortuna	1.602	401	1.202	2.608	522	2.086
Fuente Álamo	2.555	639	1.916	3.168	634	2.534
Jumilla	5.588	1.397	4.191	3.512	702	2.810
Librilla	1.140	285	855	920	184	736
Lorca	18.630	4.658	13.973	11.640	2.328	9.312
Lorquí	1.474	369	1.106	810	162	648
Mazarrón	4.226	1.057	3.170	18.310	3.662	14.648
Molina de Segura	10.705	2.676	8.029	9.053	1.811	7.242
Moratalla	2.744	686	2.058	2.632	526	2.106
Mula	3.808	952	2.856	2.461	492	1.969
Murcia	92.703	23.176	69.527	56.147	11.229	44.918
Ojós	198	50	149	129	26	103
Pliego	974	244	731	746	149	597
Puerto Lumbreras	2.956	739	2.217	2.281	456	1.825
Ricote	530	133	398	299	60	239
San Javier	4.178	1.045	3.134	25.885	5.177	20.708
San Pedro del Pinatar	3.436	859	2.577	12.887	2.577	10.310
Santomera	2.501	625	1.876	2.405	481	1.924
Torre-Pacheco	4.708	1.177	3.531	4.752	950	3.802
Torres de Cotillas (Las)	3.917	979	2.938	2.328	466	1.862
Totana	5.967	1.492	4.475	4.974	995	3.979
Ulea	336	84	252	84	17	67
Unión (La)	3.835	959	2.876	1.572	314	1.258
Villanueva del Río Segura	438	110	329	219	44	175
Yecla	8.321	2.080	6.241	4.271	854	3.417
TOTAL	298.713	74.678	224.035	294.072	58.814	235.258

Tabla 21 Numero de viviendas existentes y nuevas por municipio

Para una mejor comprensión de los datos, estos quedan representados en el Gráfico 9.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

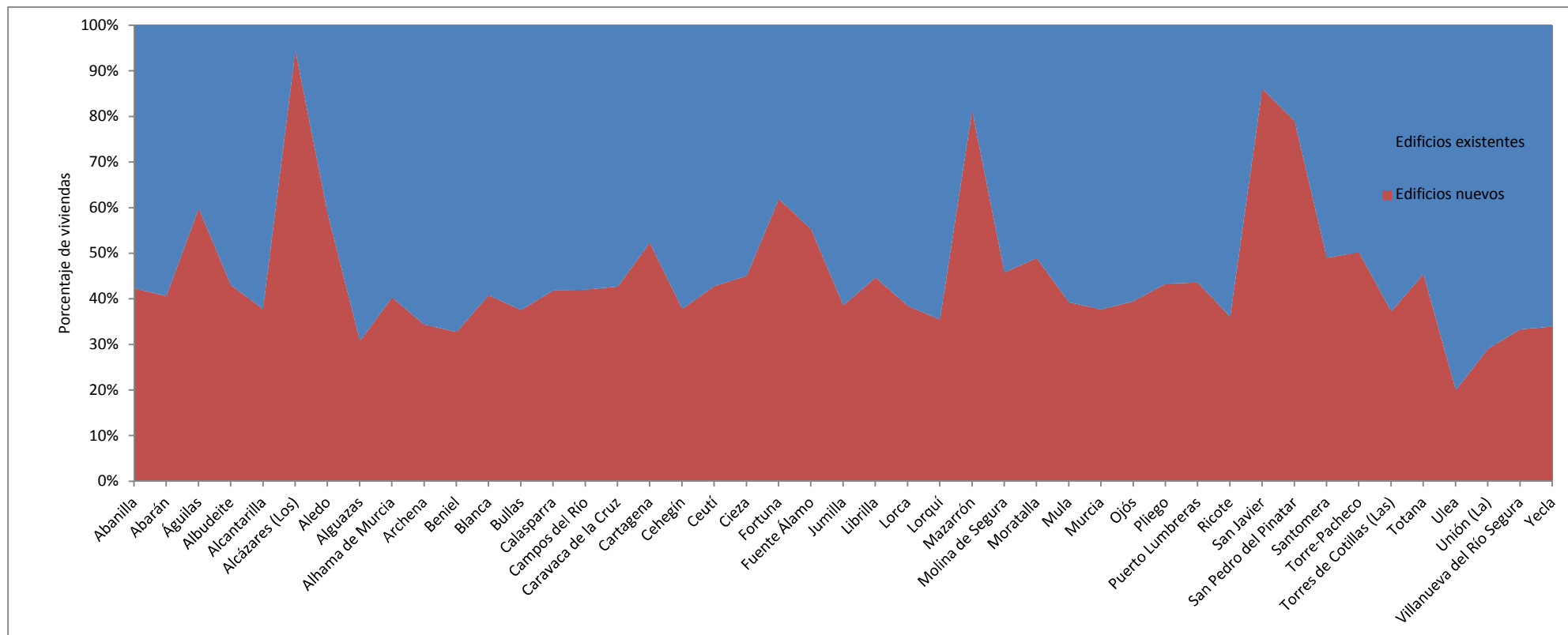


Gráfico 9 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes por municipio

9.1.4. Escenario del parque de viviendas de la Región de Murcia en cuanto a la calificación energética

Debido a la disparidad de las características constructivas de las viviendas de la región es imposible conocer con exactitud la calificación energética de las mismas. Por esto se han utilizado valores estimativos obtenidos de la *Guía de Escala de Calificación Energética para edificios destinados a viviendas* de IDAE.

Para la realización de esta guía se han estudiado las características de viviendas tipo reales en diferentes ciudades españolas. Éstas han sido evaluadas y calificadas energéticamente de acuerdo al Real Decreto 47/2007. Con la calificación de cada una de las viviendas, se ha obtenido una curva tipo, Figura 25, para las viviendas españolas de nueva construcción que aporta los datos sobre el ancho de las bandas límites entre las clases energéticas.

El dato que figura en el eje x es el dato anteriormente mencionado C_1 Índice de calificación energética. En el eje y podemos ver la superficie total de viviendas que pertenecen a cada clase.

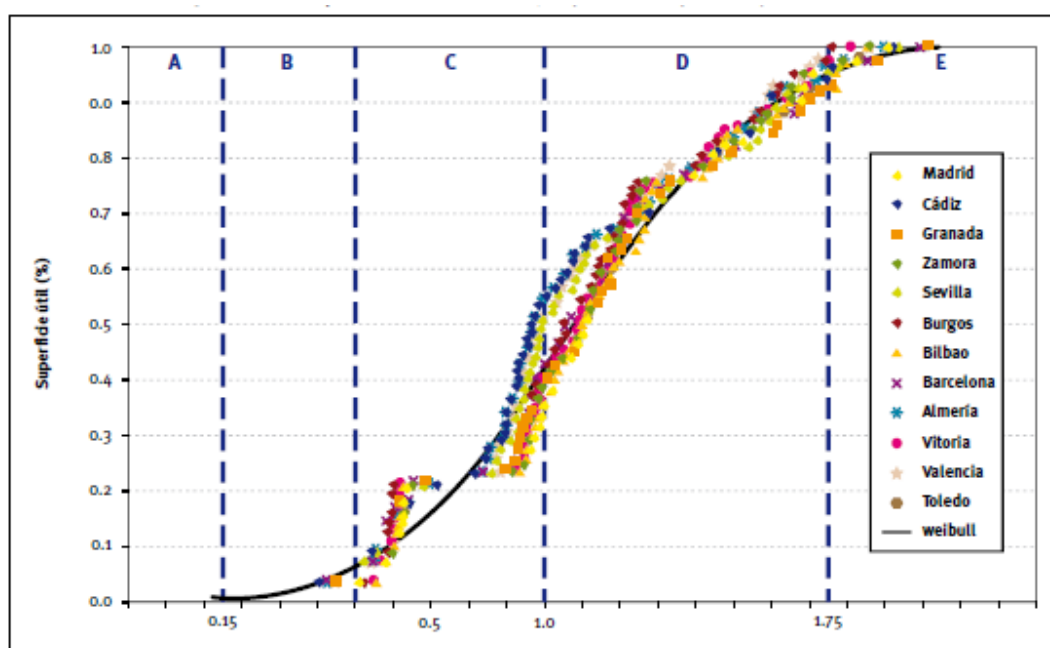


Figura 25 Ancho de las bandas de las clases energéticas en viviendas españolas de nueva construcción

Por otra parte, esta guía propone una metodología de cómo estas clases de calificación se pueden extender también para viviendas existentes. Según los datos obtenidos en el estudio, el porcentaje de viviendas nuevas y existentes para cada tipo de calificación energética quedan de la siguiente forma:

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Edificios nuevos	Porcentaje cada clase	Porcentaje acumulado
A	0	0
B	5	5
C	35	40
D	55	95
E	5	100
F	0	0
G	0	0
Total	100	

Edificios existentes	Porcentaje Cada clase	Porcentaje acumulado
A	0	0
B	0	0
C	3	3
D	12	15
E	35	50
F	40	90
G	10	100
Total	100	

Tabla 22 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes para cada clase energética

De estos datos observamos que las casas nuevas se engloban en su mayoría en la calificación D, seguida de la C y por ultimo de las clases E y B en menor cantidad. Se considera que ninguna de las viviendas pertenecen a los grupos A, F y G. Por otra parte, las viviendas existentes poseen una peor calificación energética. La mayor parte se encuentra en el grupo F, seguido de la E, después la G y D casi en igual proporción y un pequeño grupo de la clase C. Ninguna de las viviendas entran en las clases A y B.

Con estos datos se ha obtenido dos curvas representadas en el Gráfico 10, en la que se representan los porcentajes acumulados de cada una de las clases energéticas para viviendas nuevas (curva azul) y viviendas existentes (curva roja).

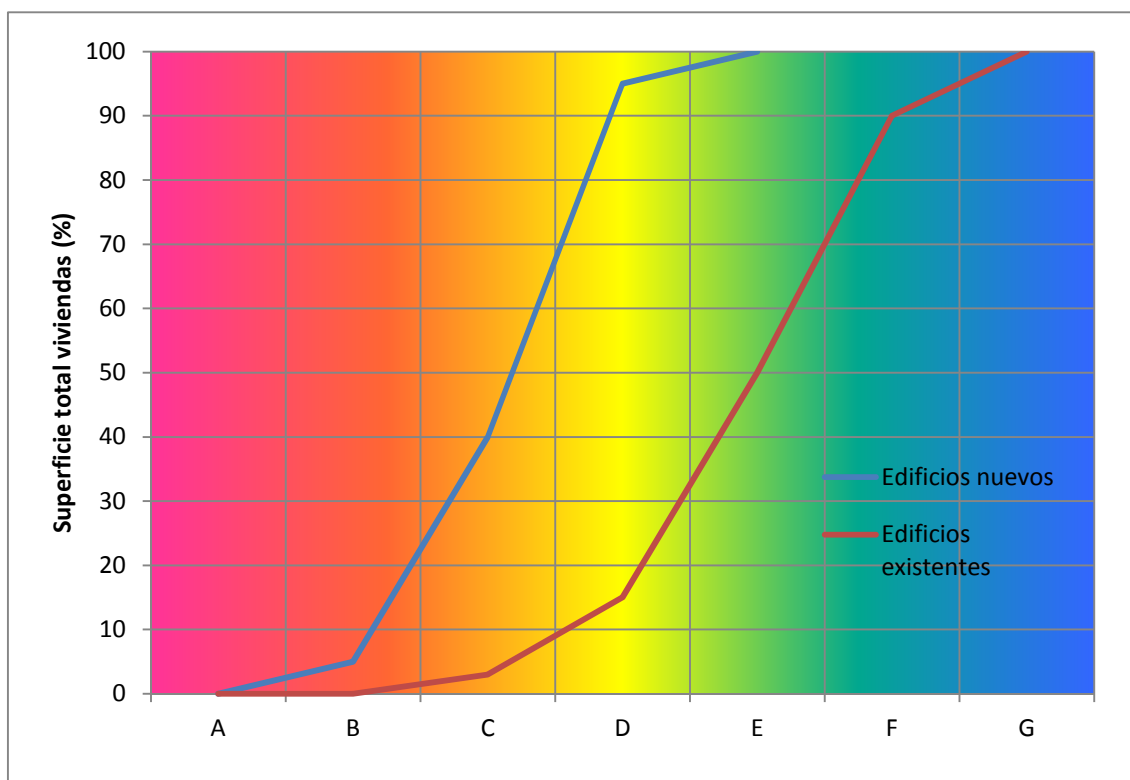


Gráfico 10 Porcentaje de viviendas nuevas y existentes por clase de calificación energética

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

9.1.5. Demanda energética anual media para cada municipio

Por un lado se ha calculado el porcentaje de viviendas que pertenece a cada clase de calificación energética para cada municipio, aplicando los porcentajes de la Tabla 22. Por otro lado hemos calculado el valor de la demanda energética para calefacción y refrigeración para viviendas con distintas calificaciones energéticas.

A continuación se han calculado las demandas medias por cada municipio, multiplicando los valores de demandas de cada clase por el porcentaje de viviendas de cada clase (Tabla 21).

Recordamos que para viviendas nuevas, las viviendas unifamiliares representan el 19% del total de las viviendas y las plurifamiliares el 81%. En el caso de las viviendas antiguas, los porcentajes son 25 y 75% respectivamente.

El siguiente paso ha sido obtener la demanda media por municipio para cada vivienda nueva o antigua, simplemente multiplicando la demanda de referencia por municipio por el porcentaje de viviendas unifamiliares y plurifamiliares. Sumando las dos, obtenemos la demanda energética media para viviendas nuevas y viviendas antiguas.

El número de viviendas antiguas y nuevas por municipio se ha traducido en porcentaje (p.e. 42% casas nuevas 58% casas antiguas). Este porcentaje ha sido aplicado a las demandas para viviendas nuevas y antiguas, obteniendo finalmente el valor de demanda energética media por municipio para calefacción y refrigeración en kWh/m² anual. Tabla 23.

Municipio	Demanda total de calefacción kWh/m ² anual	Demanda total de refrigeración kWh/m ² anual
Abanilla	47,84	20,51
Abarán	68,16	14,69
Águilas	46,74	18,74
Albudeite	50,99	20,44
Alcantarilla	52,29	20,96
Alcázares (Los)	38,04	15,25
Aledo	62,09	0,00
Alguazas	54,06	21,67
Alhama de Murcia	51,66	20,71
Archena	53,16	21,31
Beniel	53,56	21,47
Blanca	51,55	20,66
Bullas	98,87	0,00
Calasparra	67,75	14,61
Campos del Río	51,24	20,54
Caravaca de la Cruz	78,51	0,00
Cartagena	48,64	19,50
Cehegín	69,11	0,00
Ceutí	51,05	20,46

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Cieza	50,47	20,23
Fortuna	46,22	18,53
Fuente Álamo	47,88	19,19
Jumilla	68,84	0,00
Librilla	50,57	20,27
Lorca	68,89	14,85
Lorquí	52,88	21,20
Mazarrón	41,36	16,58
Molina de Segura	50,28	20,16
Moratalla	93,48	0,00
Mula	79,83	14,79
Murcia	52,32	20,97
Ojós	51,88	20,80
Pliego	67,26	14,50
Puerto Lumbreras	67,19	0,00
Ricote	69,68	15,02
San Javier	40,14	16,09
San Pedro del Pinatar	41,94	16,81
Santomera	49,47	19,83
Torre-Pacheco	49,17	19,71
Torres de Cotillas (Las)	52,43	21,02
Totana	66,56	14,35
Ulea	56,78	22,76
Unión (La)	54,49	21,84
Villanueva del Río Segura	53,42	21,42
Yecla	81,01	0,00

Tabla 23 Demandas energéticas medias por municipio

Los datos de las demandas de calefacción y refrigeración de cada municipio han sido representadas en dos capas distintas de GIS. Figura 26 y Figura 25.

La demanda de calefacción anual es mayor en todos los municipios a la demanda de refrigeración.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

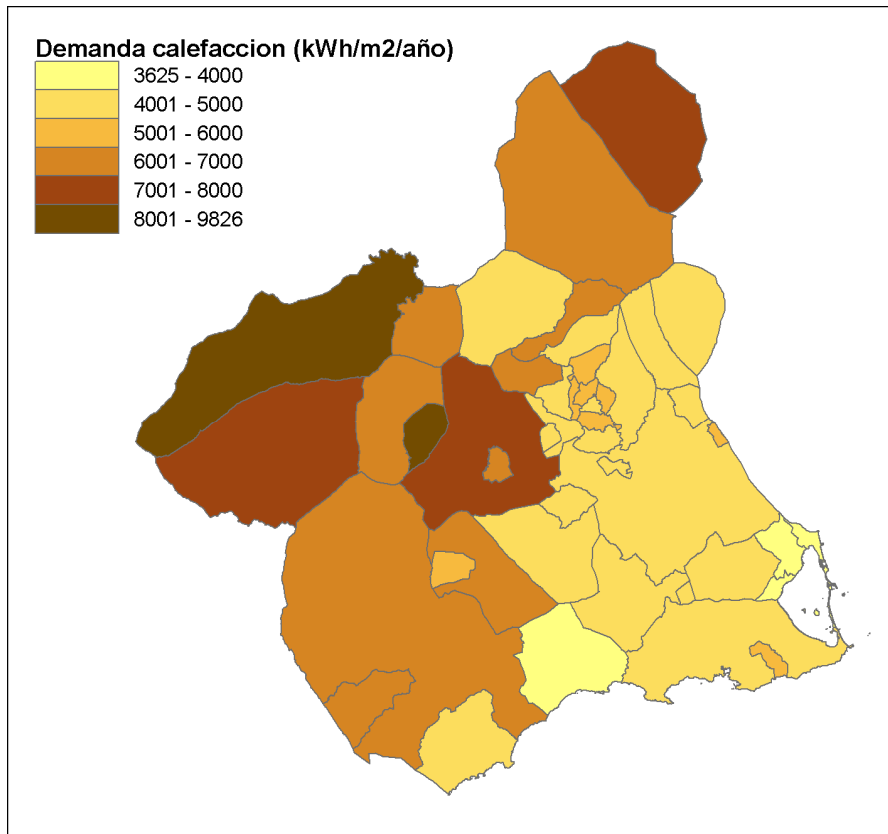


Figura 26 Mapa GIS Demanda de calefacción por municipio

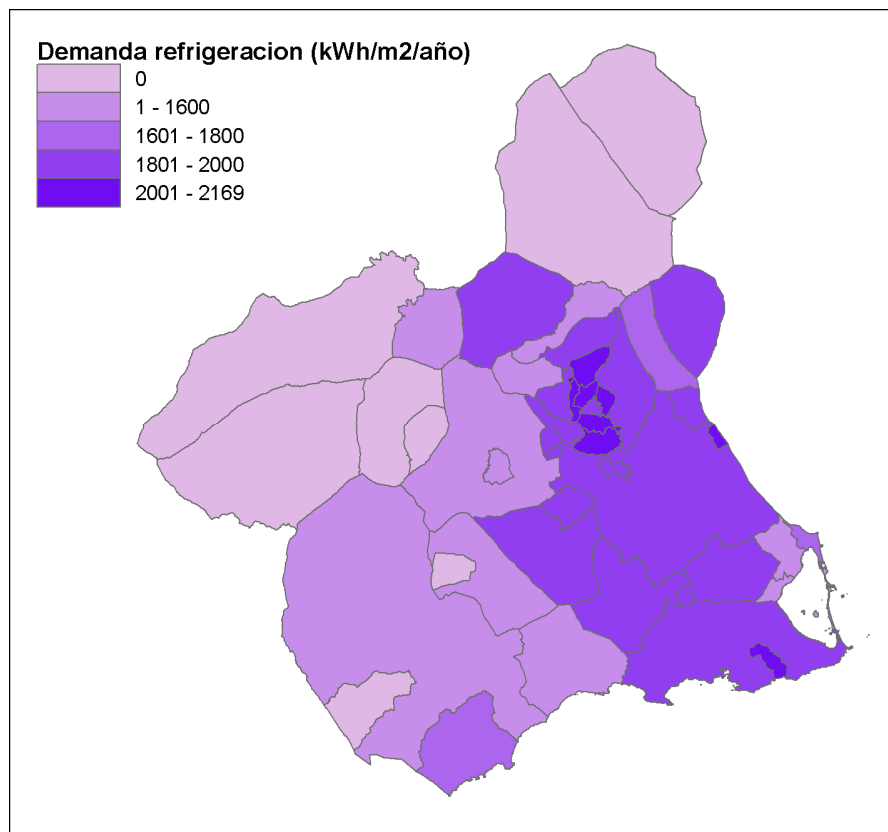


Figura 27 Mapa GIS Demanda de Refrigeración por municipio

9.2. Potencia de la bomba a instalar

Una vez conocida la demanda energética de las viviendas, calculamos la potencia que será necesaria instalar en ellas para cubrir esa demanda energética. Para ello, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$P_{BHE}(KW) = Consumo \left(\frac{KWh}{m^2} \right) * \frac{Superficie\ media\ viviendas\ (m^2)}{tiempo\ de\ funcionamiento\ (h)}$$

Del Centro Regional de Estadística de Murcia se han obtenido los datos del número de viviendas agrupadas por su superficie en m². De esta información se ha concluido que la superficie media de las viviendas de la región de Murcia es de 95,3 m². Multiplicando este dato por la demanda de las tablas anteriores, obtenemos finalmente las demandas energéticas en kWh.

La potencia de la bomba geotérmica a instalar debe ser diseñada conforme a las necesidades energéticas de los días de mayor demanda. La mayor demanda para el modo calefacción se da en el mes de que corresponde con el mes con temperaturas medias mas altas.

De los datos obtenidos en la Tabla 23, se observa que la demanda energética en modo calefacción siempre es en todos los casos mayores que la de refrigeración. Por tanto, para determinar cuál es la potencia pico necesaria para abastecer las necesidades energéticas de las viviendas en modo calor y frio, se tomará en todos los casos solo la potencia requerida para calefacción mas ACS.

Para conocer la potencia de la bomba a instalar, necesitamos calcular la potencia pico para cada municipio de acuerdo a sus demandas energéticas. Como las demandas energéticas están expresadas en kWh/año, para hallar la potencia pico tenemos que hallar la demanda para el día más frío del año, que se da en el mes de enero. Para ello, se han realizado 4 gráficos que representan el perfil medio de demandas energéticas mensuales para cada una de las 4 zonas climáticas de la Región, obtenidas de datos empíricos. Gráfico 11, Gráfico 12, Gráfico 13 y Gráfico 14.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

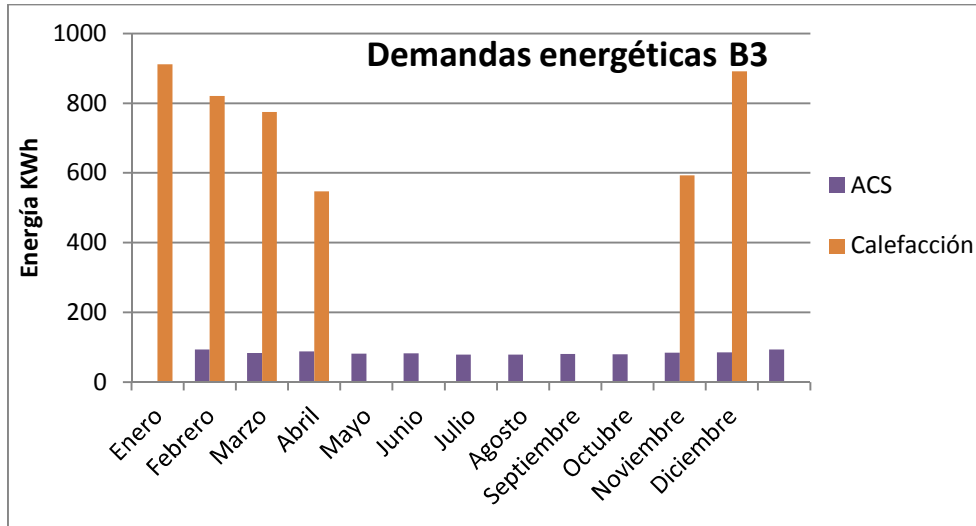


Gráfico 11 Perfil de demanda energética para la zona climática B3

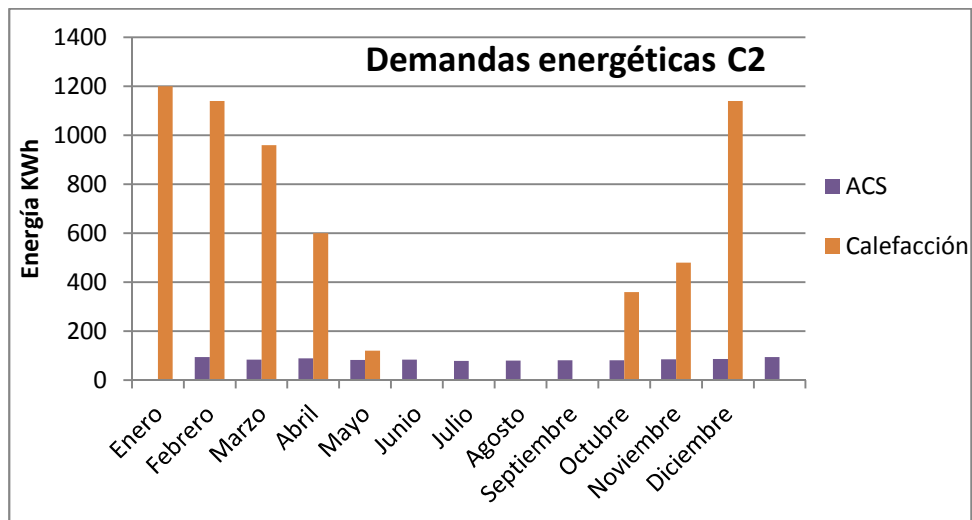


Gráfico 12 Perfil de demanda energética para la zona climática C2

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

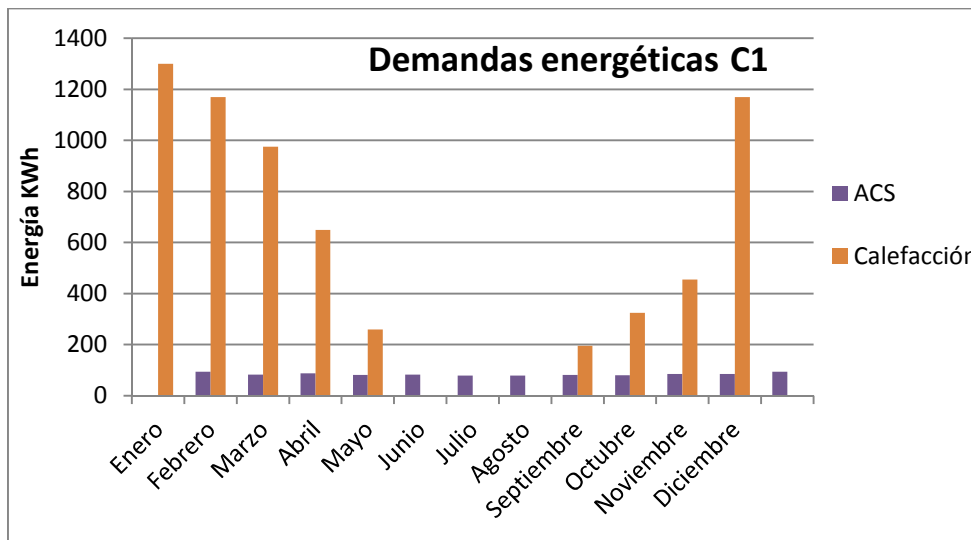


Gráfico 13 Perfil de demanda energética para la zona climática C1

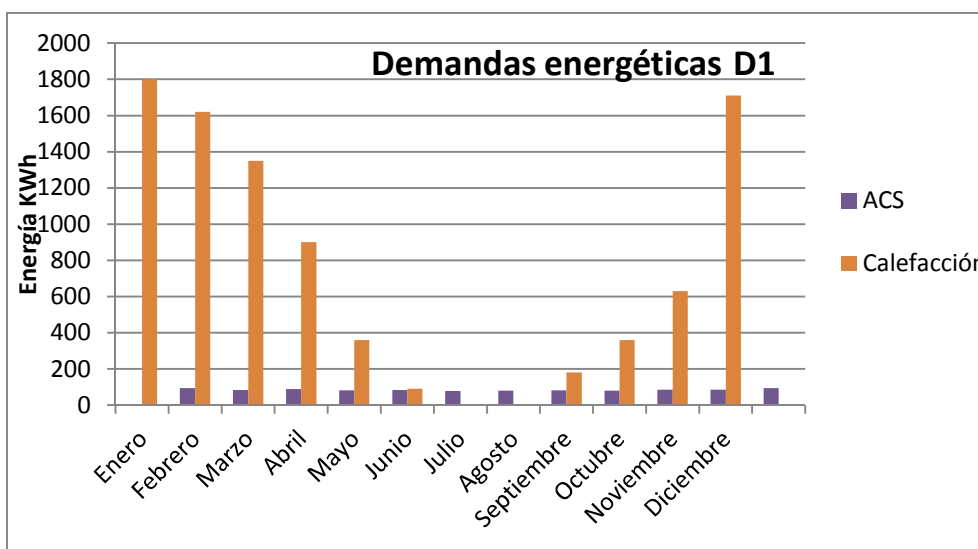


Gráfico 14 Perfil de demanda energética para la zona climática D1

Las demandas energéticas de calefacción y ACS son muy similares para cada zona climática, por lo que a cada zona se le ha aplicado el mismo valor de demanda. La demanda máxima de calefacción y ACS se ha obtenido dividiendo la demanda del mes de enero entre 31.

Una vez conocida la demanda, se debe conocer el consumo de energía para cubrir esa demanda. Se estima que el consumo de energía es un 145% de la necesidad de demanda para calefacción y un 102% para refrigeración¹⁷.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Zona	Demanda calefacción ACS enero	Demanda Calefacción ACS un día de enero	Consumo de energía para calefacción y ACS
B3	911 kWh/mes	29,41 kWh/día	42,64
C2	1200 kWh/mes	38,71 kWh/día	56,12
C1	1300 kWh/mes	41,94 kWh/día	60,81
D1	1800 kWh mes	58,06 kWh/día	84,18

Tabla 24 Demandas energéticas de calefacción y ACS máxima de un día de enero por zona climática

Obtenidas las demandas para cada municipio y asignándole una media de 9 horas de funcionamiento a la instalación en el mes mas frío de invierno al día, obtenemos la potencia pico y por tanto la potencia de la bomba a instalar. Tabla 25.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Zona	Demanda calefaccion kWh/m2/año	Demanda refrigeracion kWh/m2/año	Superficie vivienda media m2	Demanda calefaccion año kWh	Demanda calefaccion mes enero kWh	Demanda calefaccion día enero kWh	Demanda ACS dia kWh	Consumo energia calefaccion ACS kWh	Horas/día	Potencia Pico calefaccion ACS kW
										Calefacción	
Abanilla	B3	47,84	20,51	95,3	4559,07	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Abarán	C2	68,16	14,69	95,3	6495,59	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
Águilas	B3	46,74	18,74	95,3	4454,23	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Albudeite	B3	50,99	20,44	95,3	4859,01	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Alcantarilla	B3	52,29	20,96	95,3	4983,67	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Alcázares (Los)	B3	38,04	15,25	95,3	3625,24	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Aledo	C1	62,09	0,00	95,3	5917,25	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7
Alguazas	B3	54,06	21,67	95,3	5152,10	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Alhama de Murcia	B3	51,66	20,71	95,3	4923,24	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Archena	B3	53,16	21,31	95,3	5065,90	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Beniel	B3	53,56	21,47	95,3	5104,33	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Blanca	B3	51,55	20,66	95,3	4912,55	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Bullas	D1	98,87	0,00	95,3	9422,32	1800,00	58,06	3,02	88,58	9	10
Calasparra	C2	67,75	14,61	95,3	6456,90	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
Campos del Río	B3	51,24	20,54	95,3	4883,12	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Caravaca de la Cruz	C1	78,51	0,00	95,3	7481,81	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7
Cartagena	B3	48,64	19,50	95,3	4635,06	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Cehegín	C1	69,11	0,00	95,3	6586,45	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7
Ceutí	B3	51,05	20,46	95,3	4864,68	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Cieza	B3	50,47	20,23	95,3	4809,99	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Fortuna	B3	46,22	18,53	95,3	4404,82	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Fuente Álamo	B3	47,88	19,19	95,3	4562,90	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Jumilla	C1	68,84	0,00	95,3	6560,88	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Zona	Demanda calefaccion kWh/m2/año	Demanda refrigeracion kWh/m2/año	Superficie vivienda media m2	Demanda calefaccion año kWh	Demanda calefaccion mes enero kWh	Demanda calefaccion día enero kWh	Demanda ACS dia kWh	Consumo energia calefaccion ACS kWh	Horas/día	Potencia Pico calefaccion ACS kW
										Calefacción	
Librilla	B3	50,57	20,27	95,3	4819,38	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Lorca	C2	68,89	14,85	95,3	6565,30	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
Lorquí	B3	52,88	21,20	95,3	5039,91	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Mazarrón	B3	41,36	16,58	95,3	3941,99	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Molina de Segura	B3	50,28	20,16	95,3	4791,58	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Moratalla	D1	93,48	0,00	95,3	8908,39	1800,00	58,06	3,02	88,58	9	10
Mula	C2	79,83	14,79	95,3	7607,63	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
Murcia	B3	52,32	20,97	95,3	4985,80	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Ojós	B3	51,88	20,80	95,3	4944,34	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Pliego	C2	67,26	14,50	95,3	6409,45	1620,00	52,26	3,02	80,16	9	9
Puerto Lumbreras	C1	67,19	0,00	95,3	6403,64	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7
Ricote	C2	69,68	15,02	95,3	6640,92	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
San Javier	B3	40,14	16,09	95,3	3825,57	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
San Pedro del Pinatar	B3	41,94	16,81	95,3	3997,10	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Santomera	B3	49,47	19,83	95,3	4714,79	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Torre-Pacheco	B3	49,17	19,71	95,3	4685,75	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Torres de Cotillas (Las)	B3	52,43	21,02	95,3	4996,42	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Totana	C2	66,56	14,35	95,3	6343,22	1200,00	38,71	3,02	60,51	9	7
Ulea	B3	56,78	22,76	95,3	5410,75	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Unión (La)	B3	54,49	21,84	95,3	5193,16	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Villanueva del Río Segura	B3	53,42	21,42	95,3	5091,01	911,80	29,41	3,02	47,03	9	5
Yecla	C1	81,01	0,00	95,3	6403,64	1300,00	41,94	3,02	65,19	9	7

Tabla 25 Potencia de la bomba geotérmica a instalar por municipio

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

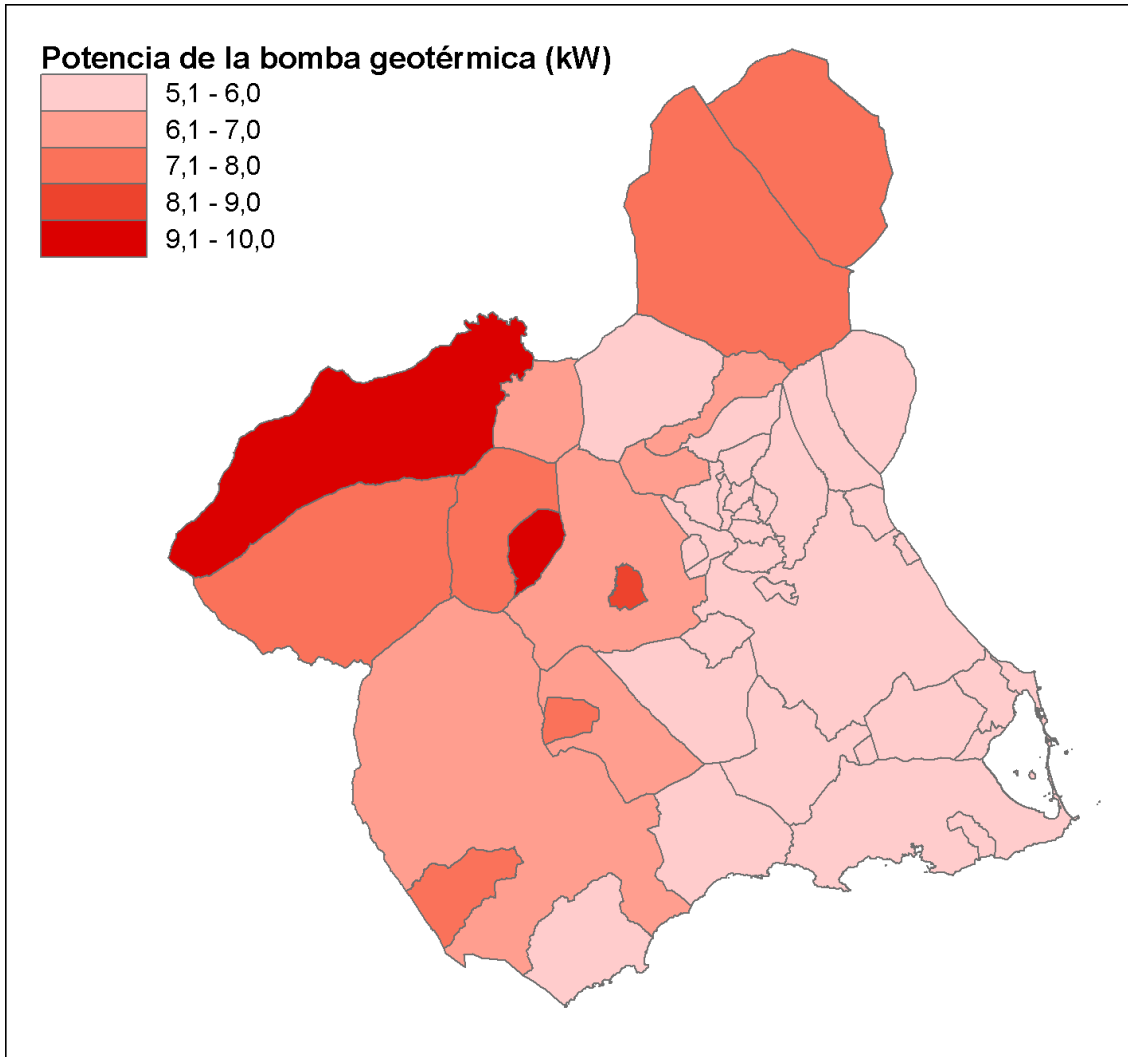


Figura 28. Mapa de GIS Potencia de la bomba geotérmica por municipios

La potencia pico en función de la zona climática de cada municipio, está en torno a 5 kW para la zona B3, 7 kW para la zona C1, 9 para la C2 y 10 para la D1, obteniendo una media de potencia en la región de 6 kW.

Observando los datos obtenidos en la Figura 28, comprobamos que las zonas de mayor necesidad de potencia corresponden en general a las zonas con mayor severidad climática de Invierno, como son los municipios de Moratalla y Bullas, mientras que los municipios que menos potencia de calefacción necesitan son, en general, los que poseen la severidad climática de Invierno más baja y se sitúan en la zona este-sureste de la Región.

9.3. Cálculo de la longitud del Intercambiador

La profundidad del intercambiador, denominada como Z_{BHE} la obtenemos al dividir la potencia de cada municipio (P_{BHE}) entre el calor específico extraíble medio para cada municipio, más la corrección de la longitud debida a la temperatura superficial del terreno ΔZ_{GST} .

$$Z_{BHE} = \frac{P_{BHE}}{SHE} + \Delta Z_{GST}$$

ΔZ_{GST} es el factor de corrección de la profundidad del intercambiador, y está en relación directa con la Temperatura Superficial del terreno por medio del siguiente polinomio de tercer grado:

$$\Delta Z_{GST} = -0,08GST^3 + 3,47GST^2 - 60,7GST + 395,3$$

La Temperatura Superficial del terreno tiene una variación estacional. La Figura 29 muestra un caso típico de la evolución de la temperatura con la profundidad para diferentes días a lo largo del año en una ciudad costera mediterránea. La curva roja corresponde a la distribución de temperaturas en el día 30 (finales de enero), las curvas magenta, azul claro y amarillo, respectivamente, a los días 90, 180 y 270.

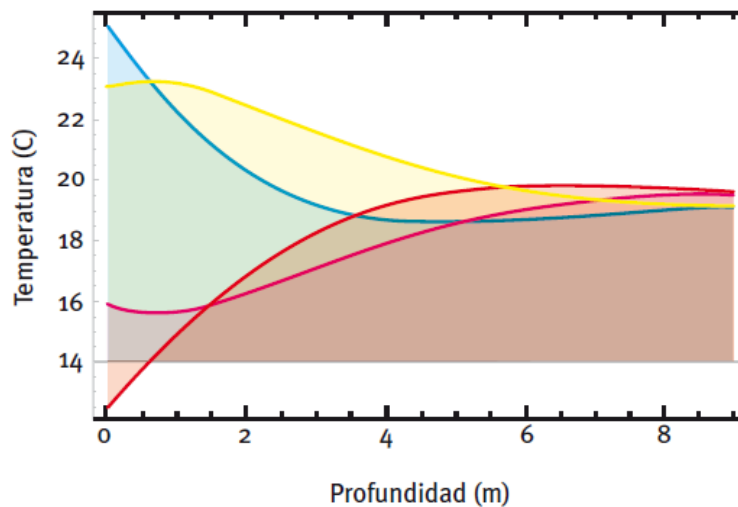


Figura 29 Variación estacional de la Temperatura Superficial del terreno

Las condiciones climáticas afectan, pues, a la energía geotérmica de muy baja temperatura a través de la temperatura superficial del suelo (GST) que depende a su vez de la temperatura Superficial del Aire (SAT).

Como se ha comentado en el apartado del cálculo de la potencia, hemos de dimensionar la instalación para las condiciones más desfavorables, es decir, las que se dan en los días más fríos ya que dimensionaremos en función de las demandas de calefacción. Los días más fríos en la región se dan en el mes de enero. Al mismo tiempo, hay que tomar en cuenta el desfase en el tiempo del cambio de la temperatura del terreno con la temperatura superficial.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

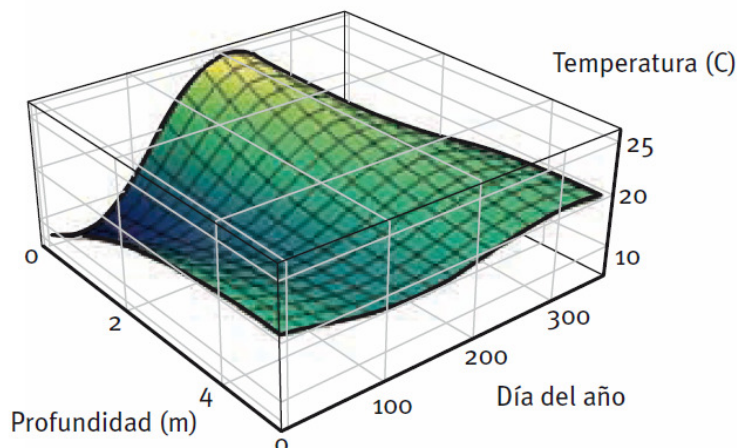


Figura 30 Variación de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad a lo largo de un año

El desfase en días se refiere al desplazamiento de la temperatura superficial con la profundidad como se observa en la Figura 30. Un valor típico de este parámetro es 35 ± 10 días (análisis de Kusuda).

Por tanto, como los días más fríos corresponden al mes de enero, se han obtenido las temperaturas medias de dos meses anteriores, noviembre y diciembre, de las capitales de los municipios de la Región de los últimos 10 años. Estos datos han sido extraídos de la base de datos de la web *Photovoltaic Geographical Information System*¹⁸, que pertenece al sitio web Oficial de la Unión Europea.

Con los datos de la temperatura superficial del aire (SAT), se han obtenido los datos de la temperatura superficial del terreno (GST) a través de la siguiente regresión lineal¹⁹

$$y = 0,8548x + 1,969$$

Siendo “y” la temperatura del aire (SAT) y “x” (GST) la del terreno. En nuestro caso la temperatura del terreno es la incógnita “x” y “y” el dato conocido.

De los datos obtenidos, observamos que cuando la GST está por encima de los 15°C, la corrección de la profundidad del intercambiador es negativa, es decir, la profundidad del intercambiador se reduce algunos metros, mientras que cuando la GST es menor, la profundidad corregida aumenta. Gráfico 15.

Una vez obtenida GST para cada municipio, extraemos los valores de corrección de la longitud del intercambiador y finalmente, los valores de la longitud final media del intercambiador por municipio. Tabla 26.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

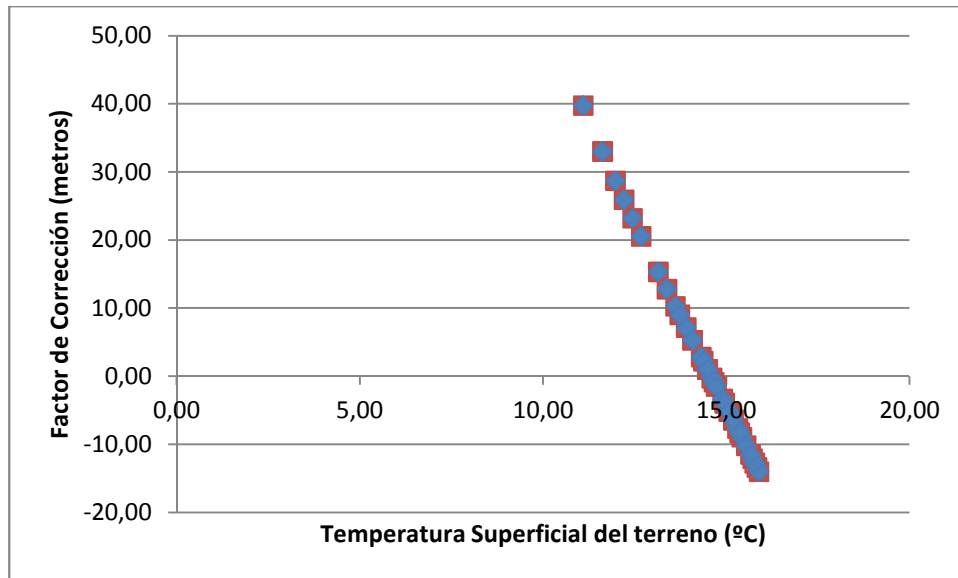


Gráfico 15 Factor de corrección de la profundidad del intercambiador frente a GST

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Temperatura media diciembre	Temperatura media noviembre	Media temperatura dic_nov	Temperatura del terreno GST	Factor de corrección por GST	She medio por comarca	Potencia media necesaria por municipio	Profundidad Z _{BHE}	Profundidad corregida Z' _{BHE}
	°C	°C	°C	°C	metros	W/m	W	metros	metros
Abanilla	16	12,9	14,45	14,60	-0,24	55	5000	90,59	90
Abarán	15,8	12,6	14,2	14,31	2,84	41	7000	168,81	172
Águilas	16,9	13,9	15,4	15,71	-12,10	66	5000	76,33	64
Albudeite	15,9	12,8	14,35	14,48	1,00	53	5000	93,65	95
Alcantarilla	16,5	13,4	14,95	15,19	-6,43	60	5000	83,08	77
Alcázares (Los)	17,1	13,9	15,5	15,83	-13,38	75	5000	66,61	53
Aledo	14,4	11,2	12,8	12,67	20,55	47	7000	150,45	171
Alguazas	16,4	13,3	14,85	15,07	-5,18	50	5000	99,67	94
Alhama de Murcia	16,1	13	14,55	14,72	-1,47	46	5000	108,90	107
Archena	16,3	13,1	14,7	14,89	-3,32	57	5000	88,27	85
Beniel	16,7	13,6	15,15	15,42	-8,93	65	5000	77,23	68
Blanca	15,8	12,7	14,25	14,37	2,23	42	5000	119,47	122
Bullas	13,8	10,6	12,2	11,97	28,71	44	10000	229,69	258
Calasparra	14,8	11,6	13,2	13,14	15,34	46	7000	153,46	169
Campos del Río	16,1	12,9	14,5	14,66	-0,85	47	5000	106,97	106
Caravaca de la Cruz	13,5	10,3	11,9	11,62	33,01	49	7000	143,82	177
Cartagena	17,1	14	15,55	15,89	-14,02	64	5000	78,00	64
Cehegín	14	10,8	12,4	12,20	25,93	51	7000	138,44	164
Ceutí	16,3	13,2	14,75	14,95	-3,94	60	5000	82,74	79
Cieza	16,3	13,2	14,75	14,95	-3,94	45	5000	109,96	106
Fortuna	16	12,9	14,45	14,60	-0,24	56	5000	89,95	90
Fuente Álamo	16,6	13,5	15,05	15,30	-7,68	44	5000	112,49	105

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Jumilla	14,2	11	12,6	12,44	23,21	40	7000	175,45	199
Librilla	16,6	13,1	14,85	15,07	-5,18	53	5000	94,77	90
Lorca	15,6	12,4	14	14,07	5,31	51	7000	137,79	143
Lorquí	16	12,9	14,45	14,60	-0,24	60	5000	83,60	83
Mazarrón	16,8	13,7	15,25	15,54	-10,19	51	5000	97,78	88
Molina de Segura	16,4	13,3	14,85	15,07	-5,18	51	5000	98,21	93
Moratalla	13,1	9,8	11,45	11,09	39,77	56	10000	179,41	219
Mula	15,4	12,3	13,85	13,90	7,17	45	7000	157,16	164
Murcia	16,6	13,5	15,05	15,30	-7,68	59	5000	85,39	78
Ojós	15,9	12,8	14,35	14,48	1,00	53	5000	94,68	96
Pliego	15	11,8	13,4	13,37	12,80	49	9000	184,07	197
Puerto Lumbreras	15,2	12	13,6	13,61	10,28	53	7000	131,15	141
Ricote	15,3	12,1	13,7	13,72	9,03	47	7000	150,08	159
San Javier	17	13,9	15,45	15,77	-12,74	67	5000	74,38	62
San Pedro del Pinatar	17	13,9	15,45	15,77	-12,74	68	5000	73,94	61
Santomera	16,7	13,5	15,1	15,36	-8,30	68	5000	73,68	65
Torre-Pacheco	16,7	13,5	15,1	15,36	-8,30	70	5000	71,00	63
Torres de Cotillas	16,5	13,4	14,95	15,19	-6,43	55	5000	91,14	85
Totana	15,9	12,8	14,35	14,48	1,00	37	7000	188,60	190
Ulea	16,1	13	14,55	14,72	-1,47	47	5000	106,41	105
Unión (La)	16,9	13,8	15,35	15,65	-11,46	67	5000	74,99	64
Villanueva del Río Segura	15,6	12,4	14	14,07	5,31	56	5000	88,57	94
Yecla	13,5	10,3	11,9	11,62	33,01	32	7000	217,65	251

Tabla 26 SAT, GST, Profundidad del intercambiador y Profundidad corregida por GST.

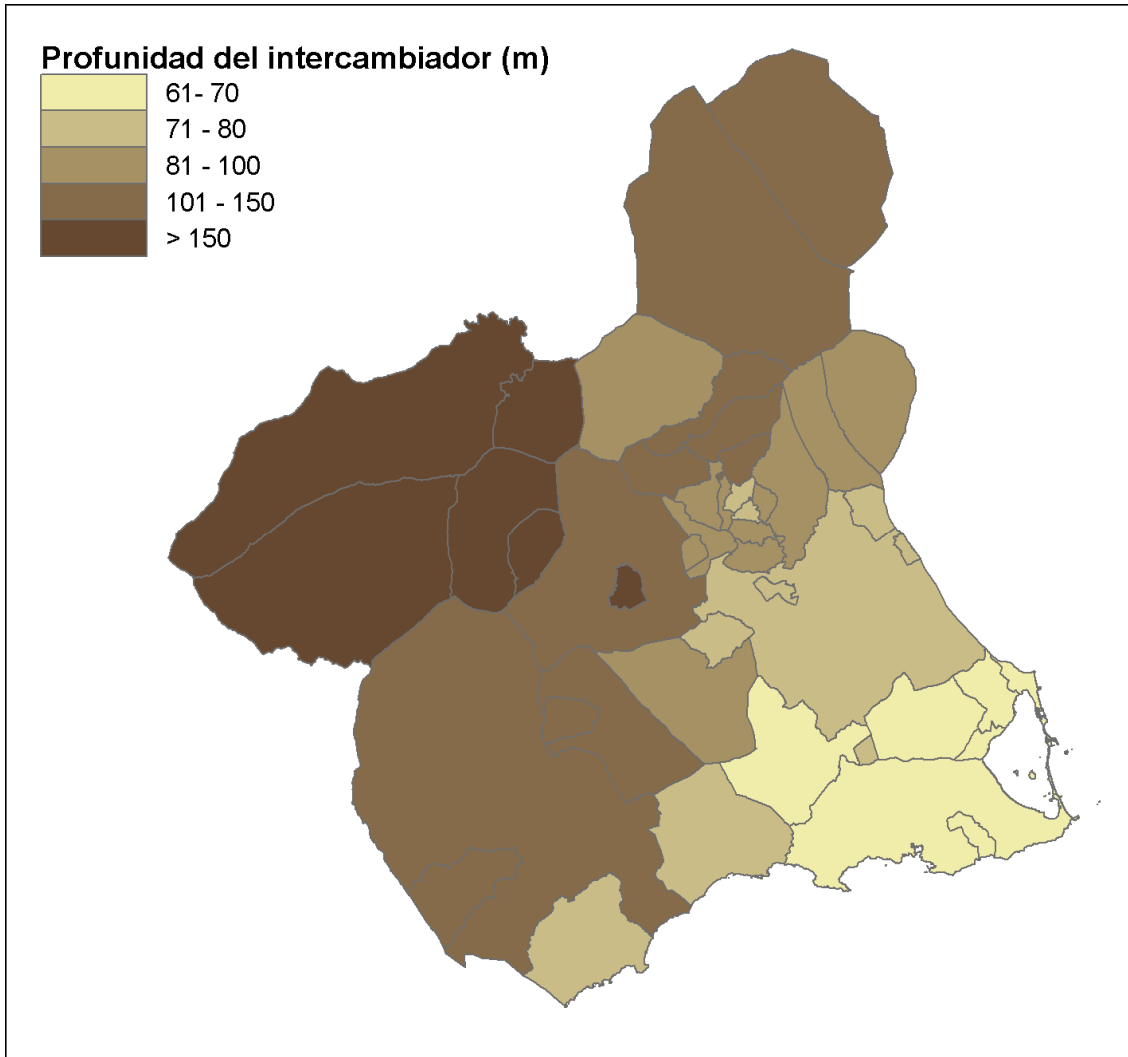


Figura 31 Mapa GIS Profundidad del intercambiador.

En la Figura 31 observamos que son los municipios de Moratalla, Calasparra, Cehegín, Pliego, Bullas y Caravaca de la Cruz los que de media necesitan las mayores profundidades del intercambiador geotérmico para abastecer el 100% de las demandas energéticas de las viviendas.

En el caso de Bullas y Moratalla, estos municipios presentan las temperaturas medias de invierno mas bajas de la Región y por tanto su temperatura del terreno es baja y la demanda energética para calefacción es alta, lo que conlleva a la necesidad de un intercambiador de mayor longitud. Además, de media, estos municipios presentan valores de calor extraíble de medio a bajo (45-55 W/m). Por el contrario, Los Alcázares y Cartagena poseen unas demandas de calefacción bajas y las temperaturas medias de invierno son las mas altas de la Región. Además, presentan uno de los valores medios de calor extraíble mas altos, y consecuentemente las instalaciones geotérmicas tienen suficiente con intercambiadores mucho mas cortos que los municipios de la comarca del noroeste.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

En general, los municipios con mayores demandas energéticas de calefacción necesitan intercambiadores mas largos, modificándose esta tendencia en ciertos municipios debido a la diferencia del valor de sHE.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

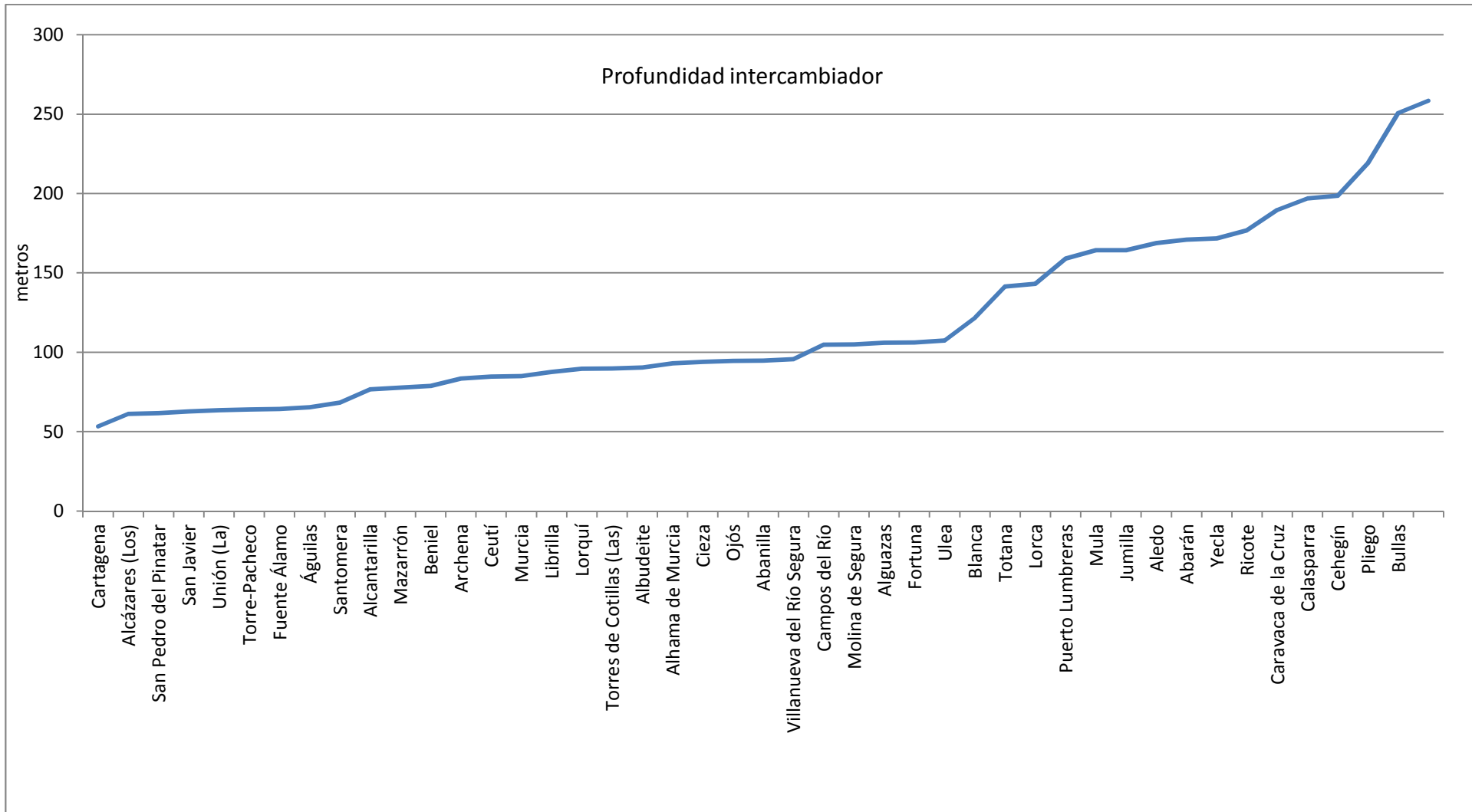


Gráfico 16 Profundidad del intercambiador geotérmico por municipio

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

De los resultados obtenidos, cabe realizar varias anotaciones:

- En la práctica, los intercambiadores geotérmicos para instalaciones de frío y calor no se diseñan nunca con profundidades superiores a los 100 metros. Esto es debido a que a partir de esta profundidad el terreno se ve afectado por el gradiente geotérmico, que posee de media un valor de 3°C/100 metros profundidad. Este gradiente conlleva elevadas temperaturas a ciertas profundidades que van en detrimento del COP de la instalación en modo refrigeración.
- Dicho esto, cabe mencionar que una instalación que necesite 150 metros de intercambiador, no conlleva necesariamente a realizar un sondeo con esa profundidad, sino que se pueden realizar dos perforaciones de 75 metros cada una, por ejemplo.
- En los municipios donde la profundidad del intercambiador es elevada, lo normal es que las instalaciones se diseñen para cubrir entre un 40 y 60% de la demanda energética total de la vivienda y no el 100% que es la propuesta del presente proyecto.

9.4. Cálculo del Coste de la Instalación

El coste de la instalación ha sido calculado basado en características termales del suelo y la demanda de potencia para cada municipio. En este análisis, el coste de la instalación se ha derivado solo del coste de la perforación el cual representa el mayor coste de la instalación en su totalidad. El coste de la perforación se sitúa en un 60% de media del coste total para este tipo de instalaciones²⁰.

En el apartado anterior ya habíamos determinado la profundidad a perforar necesaria para abastecer las demandas energéticas necesarias. En este apartado se calculan los costes asociados a la perforación para la posterior inserción de los intercambiadores.

El factor determinante en este caso es la dureza de la roca. De empresas especializadas en perforaciones para geotermia, se han obtenido los siguientes datos de precios estimados:

Tipo de suelo	Precio de perforación por ml
<p align="center">Suelos blandos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arenas - Gravas - Areniscas - Arcillas - Margas - Limos - Conglomerados 	40€
<p align="center">Suelos duros</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mármoles - Calizas - Micaesquistos - Dolomías - Calcarenitas 	30€

Por lo tanto, todas las litologías han sido clasificadas en dos grupos con un precio de perforación para cada una. Posteriormente, por medio de GIS se han localizado y representado estos dos grupos asignándole a cada uno su precio correspondiente de perforación de la roca obteniendo así una nueva capa GIS con los datos del coste de perforación en la Región de Murcia. Figura 32.

El cálculo del coste de la instalación (C_{BHE}) lo podemos obtener finalmente con el producto de los valores de la profundidad de los intercambiadores (Z'_{BHE}) por el coste que supone la perforación (C_p) para cada litología.

$$C_{BHE} = Z'_{BHE} \cdot C_p$$

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

El coste de la instalación no incluye el coste de la bomba geotérmica y el circuito secundario de difusión en el interior de la vivienda, que son los componentes comunes de este tipo de instalaciones.

De la capa GIS de coste de perforación por litología, Figura 32, se ha realizado otra capa con los valores de precio medio de la perforación por municipios, Figura 33, con el objeto de medir su conveniencia.

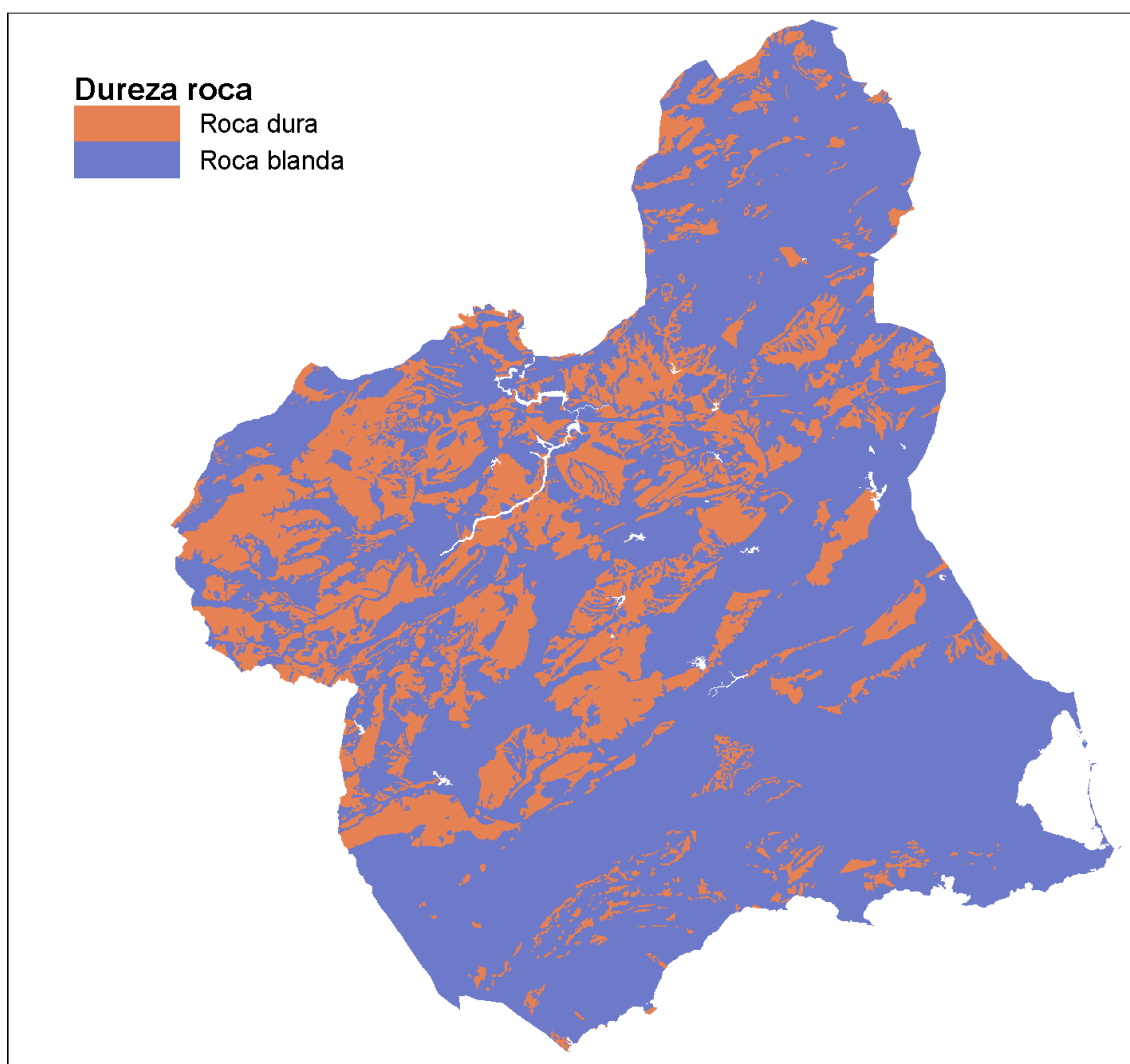


Figura 32 Mapa GIS Clasificación de la región según dureza de la roca

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

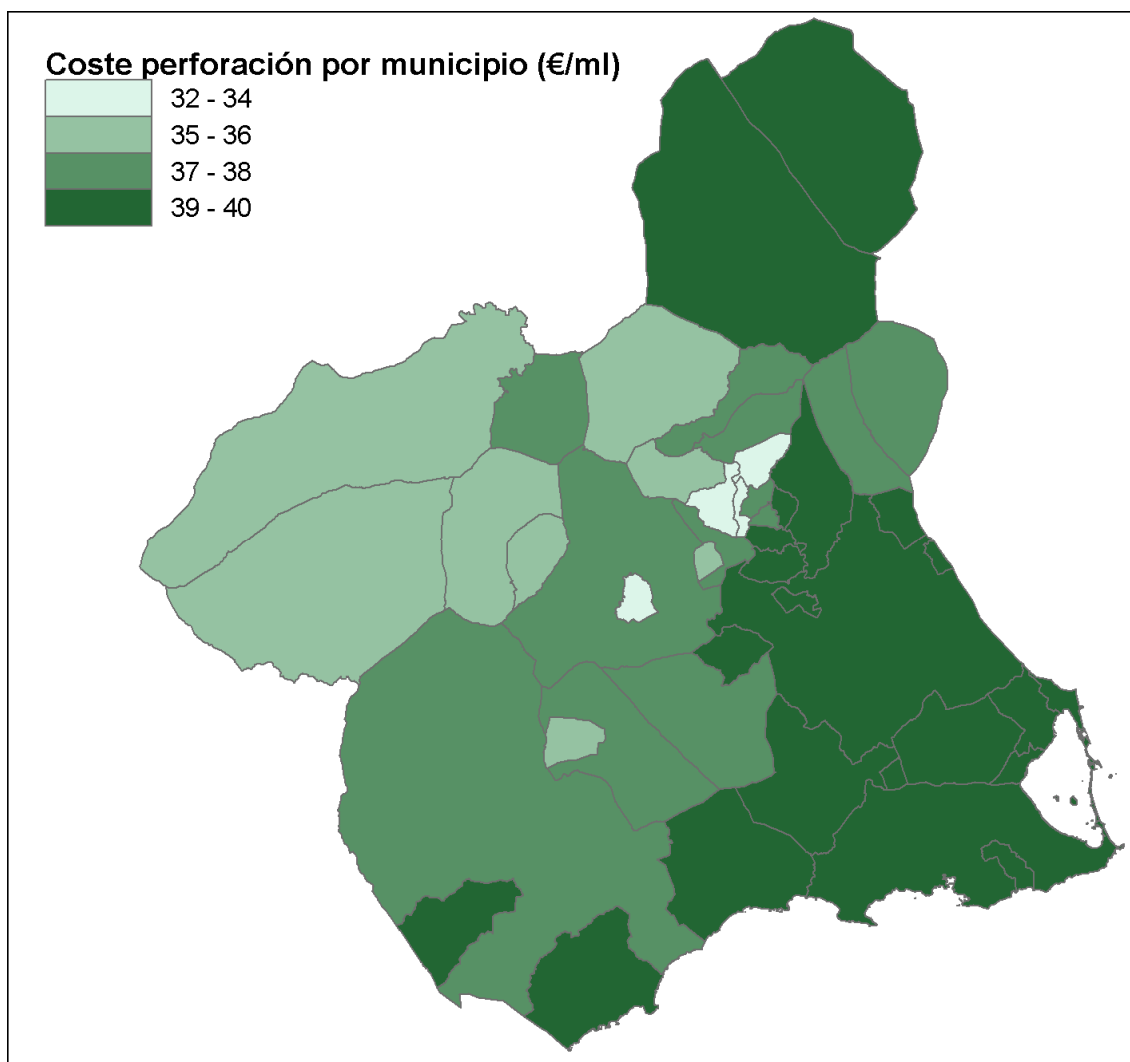


Figura 33 Mapa GIS Coste de la perforación por municipios según dureza de la roca

Los costes de perforación están directamente relacionados con la dureza de las litologías presentes en el subsuelo, siendo los costes más elevados los que corresponden a la comarca del Campo de Cartagena, y a los municipios de Águilas, Puerto Lumbreras, Jumilla y Yecla, donde prácticamente toda su área se engloba en roca blanda. Las zonas con los costes más bajos corresponden a los municipios de Ulea, Pliego, Ojos y Villanueva del Río Segura.

La tendencia general es que el coste de la perforación disminuyendo desde los municipios del sureste de la Región en dirección noroeste.

Posteriormente se ha calculado con GIS el coste medio de la instalación geotérmica por municipio, cuyos resultados se muestran en la Tabla 27.

Municipio	Coste medio metro de perforación (€)	Longitud de los intercambiadores (metros)	Precio perforación (€)	Precio total instalación geotérmica (€)
Abanilla	37,30	89	3321	5546
Abarán	36,87	144	5291	8837

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Águilas	39,36	72	2837	4738
Albudeite	34,24	81	2772	4630
Alcantarilla	39,84	75	2973	4965
Alcázares (Los)	40,00	65	2582	4311
Aledo	34,67	70	2423	4046
Alguazas	39,14	93	3641	6080
Alhama de Murcia	37,73	82	3075	5136
Archena	36,56	77	2803	4681
Beniel	38,29	76	2923	4882
Blanca	37,00	106	3913	6535
Bullas	35,78	74	2652	4429
Calasparra	36,37	162	5887	9831
Campos del Río	37,63	91	3414	5701
Caravaca de la Cruz	35,12	74	2582	4311
Cartagena	39,53	64	2535	4234
Cehegín	34,53	83	2857	4771
Ceutí	36,51	77	2821	4711
Cieza	34,99	83	2904	4850
Fortuna	37,87	97	3675	6138
Fuente Álamo	39,77	69	2761	4611
Jumilla	38,18	78	2972	4963
Librilla	38,11	79	3017	5038
Lorca	37,49	93	3487	5823
Lorquí	38,71	80	3110	5194
Mazarrón	38,88	75	2911	4862
Molina de Segura	38,16	92	3503	5851
Moratalla	35,21	90	3170	5295
Mula	36,33	134	4859	8114
Murcia	38,33	77	2968	4957
Ojós	33,02	89	2936	4903
Pliego	32,71	166	5424	9057
Puerto Lumbreras	39,83	60	2378	3971
Ricote	35,01	146	5112	8537
San Javier	40,00	66	2629	4390
San Pedro del Pinatar	40,00	65	2605	4351
Santomera	39,65	74	2942	4913
Torre-Pacheco	40,00	69	2742	4579
Torres de Cotillas (Las)	40,00	81	3233	5400
Totana	36,80	121	4465	7456
Ulea	33,99	105	3575	5971
Unión (La)	39,70	66	2634	4399
Villanueva del Río Segura	32,18	90	2888	4823
Yecla	38,76	71	2766	4619

Tabla

27

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Sabiendo que el coste de la perforación supone el 60% del coste de la instalación, se ha calculado el coste de la instalación total aproximado. Los datos obtenidos se han representado en la Figura 34.

Municipio	Coste medio metro de perforación (€)	Longitud de los intercambiadores (metros)	Precio perforación (€)	Precio total instalación geotérmica (€)
Abanilla	37,30	89	3321	5546
Abarán	36,87	144	5291	8837
Águilas	39,36	72	2837	4738
Albudeite	34,24	81	2772	4630
Alcantarilla	39,84	75	2973	4965
Alcázares (Los)	40,00	65	2582	4311
Aledo	34,67	70	2423	4046
Alguazas	39,14	93	3641	6080
Alhama de Murcia	37,73	82	3075	5136
Archena	36,56	77	2803	4681
Beniel	38,29	76	2923	4882
Blanca	37,00	106	3913	6535
Bullas	35,78	74	2652	4429
Calasparra	36,37	162	5887	9831
Campos del Río	37,63	91	3414	5701
Caravaca de la Cruz	35,12	74	2582	4311
Cartagena	39,53	64	2535	4234
Cehegín	34,53	83	2857	4771
Ceutí	36,51	77	2821	4711
Cieza	34,99	83	2904	4850
Fortuna	37,87	97	3675	6138
Fuente Álamo	39,77	69	2761	4611
Jumilla	38,18	78	2972	4963
Librilla	38,11	79	3017	5038
Lorca	37,49	93	3487	5823
Lorquí	38,71	80	3110	5194
Mazarrón	38,88	75	2911	4862
Molina de Segura	38,16	92	3503	5851
Moratalla	35,21	90	3170	5295
Mula	36,33	134	4859	8114
Murcia	38,33	77	2968	4957
Ojós	33,02	89	2936	4903
Pliego	32,71	166	5424	9057
Puerto Lumbreras	39,83	60	2378	3971
Ricote	35,01	146	5112	8537
San Javier	40,00	66	2629	4390

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

San Pedro del Pinatar	40,00	65	2605	4351
Santomera	39,65	74	2942	4913
Torre-Pacheco	40,00	69	2742	4579
Torres de Cotillas (Las)	40,00	81	3233	5400
Totana	36,80	121	4465	7456
Ulea	33,99	105	3575	5971
Unión (La)	39,70	66	2634	4399
Villanueva del Río Segura	32,18	90	2888	4823
Yecla	38,76	71	2766	4619

Tabla 27 Coste de la instalación geotérmica

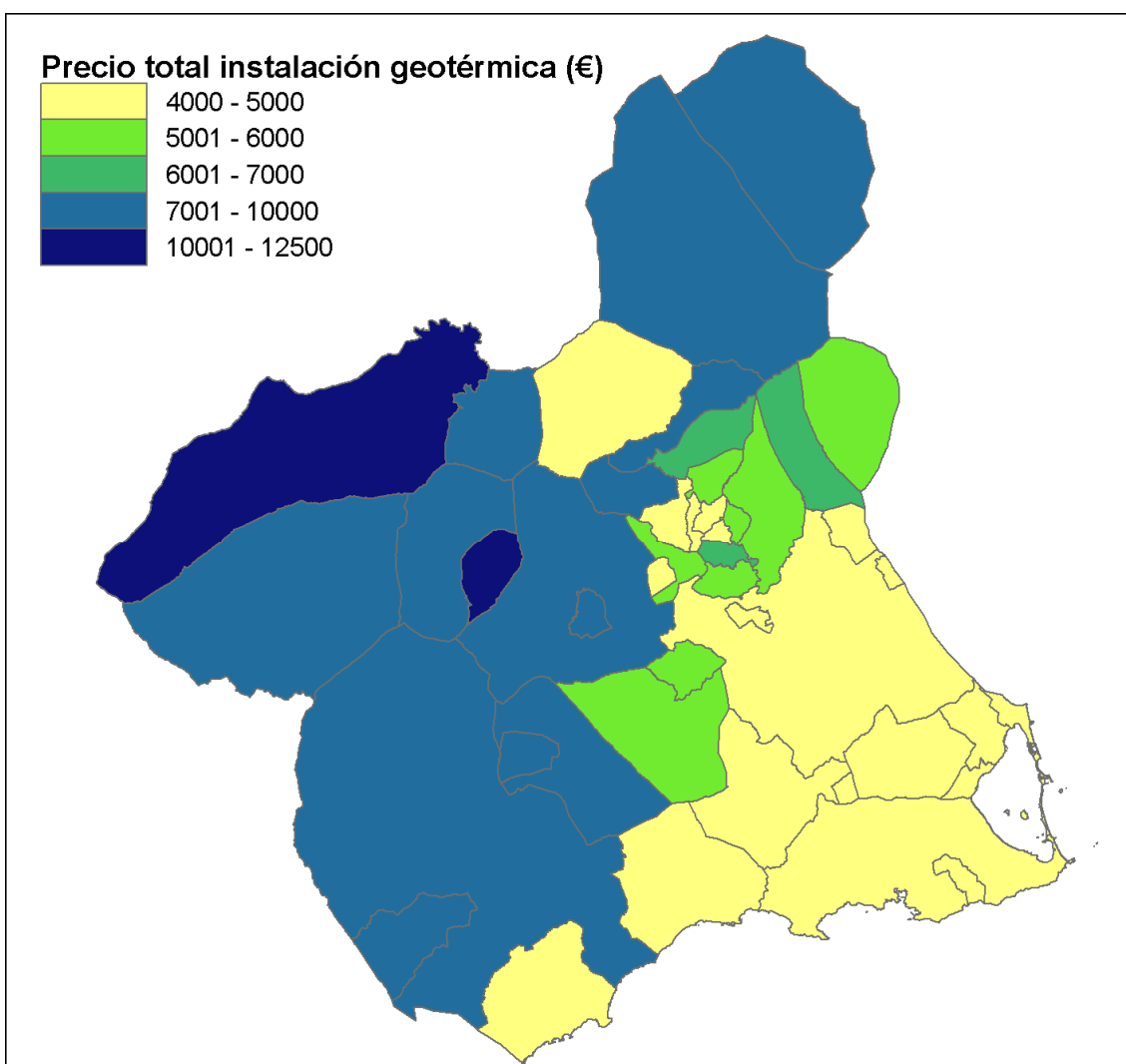


Figura 34 Mapa GIS Precio de la Instalación geotérmica

El coste total de la instalación oscila entre los 4.000 y 12.500€, situándose la media de la Región en los 6.500€.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Los municipios donde la instalación geotérmica tiene un coste mas elevado son Moratalla y Bullas, debido a las grandes profundidades de sus respectivos sondeos. Por el contrario, las zonas donde la instalación tiene un menor coste son, en general, los municipios del este de la Región, además de Cieza y Águilas.

Cabe destacar que se advierte una relación directa entre aquellos municipios con mayor calor extraíble y menor coste de la instalación. También se advierte que los municipios donde la perforación es de media mas cara, presentan los coste de la instalación mas bajos, a excepción de Jumilla y Yecla.

9.5. Retorno de la inversión para una instalación geotérmica individual

El coste de la energía geotérmica C_{KWh} la podemos calcular dividiendo el coste de la instalación C_{BHE} y el consumo de energía durante un tiempo de referencia para cada municipio.

$$C_{KWh} = C_{BHE}/Consumo$$

Se ha calculado el precio del kWh para instalaciones que cubran solo la demanda de calefacción y ACS, y el coste para las instalaciones que cubren la demanda de calefacción, refrigeración y ACS. Tabla 28.

Municipio	Precio de la instalación total (€)	Consumo calef+ACS 10 años	Consumo Cal+Ref+ACS 10 años kWh	Coste del kWh geotérmico calefaccion+ACS (€)	Coste del kWh geotérmico calefaccion+Refr+ACS (€)
Abanilla	5546,21	82410	102347	0,067	0,054
Abarán	8836,69	110490	124773	0,080	0,071
Águilas	4737,83	80890	99103	0,059	0,048
Albudeite	4629,64	86760	106628	0,053	0,043
Alcantarilla	4965,41	88567	108945	0,056	0,046
Alcázares (Los)	4311,39	68870	83693	0,063	0,052
Aledo	8083,73	102104	102104	0,079	0,079
Alguazas	6080,44	91009	112076	0,067	0,054
Alhama de Murcia	5136,05	87691	107822	0,059	0,048
Archena	4681,11	89759	110473	0,052	0,042
Beniel	4882,16	90317	111188	0,054	0,044
Blanca	6534,90	87536	107623	0,075	0,061
Bullas	11766,27	152927	152927	0,077	0,077
Calasparra	9830,75	109929	124127	0,089	0,079
Campos del Río	5701,42	87109	107076	0,065	0,053
Caravaca de la Cruz	8864,28	124790	124790	0,071	0,071
Cartagena	4233,97	83512	102465	0,051	0,041
Cehegín	9401,17	111807	111807	0,084	0,084
Ceutí	4710,81	86842	106733	0,054	0,044
Cieza	4849,76	86049	105716	0,056	0,046
Fortuna	6137,91	80174	98185	0,077	0,063
Fuente Álamo	4611,24	82466	101123	0,056	0,046
Jumilla	8867,43	111437	111437	0,080	0,080
Librilla	5037,95	86185	105891	0,058	0,048
Lorca	8019,49	111501	125937	0,072	0,064
Lorquí	5194,03	89382	109990	0,058	0,047
Mazarrón	4861,57	73463	89581	0,066	0,054
Molina de Segura	5850,76	85782	105374	0,068	0,056

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Moratalla	12531,90	145475	145475	0,086	0,086
Mula	8114,32	126614	140995	0,064	0,058
Murcia	4956,86	88598	108984	0,056	0,045
Ojós	4902,83	87997	108214	0,056	0,045
Pliego	9057,35	109241	123335	0,083	0,073
Puerto Lumbreras	8617,95	109157	109157	0,079	0,079
Ricote	8537,41	112597	127200	0,076	0,067
San Javier	4390,18	71775	87417	0,061	0,050
San Pedro del Pinatar	4351,13	74262	90606	0,059	0,048
Santomera	4913,49	84668	103947	0,058	0,047
Torre-Pacheco	4579,42	84247	103407	0,054	0,044
Torres de Cotillas (Las)	5399,77	88752	109182	0,061	0,049
Totana	7455,98	108280	122229	0,069	0,061
Ulea	5970,84	94760	116884	0,063	0,051
Unión (La)	4398,72	91605	112839	0,048	0,039
Villanueva del Río Segura	4823,49	90123	110940	0,054	0,043
Yecla	9377,01	109157	109157	0,086	0,086

Tabla 28 Coste del kWh geotérmico

De los datos obtenidos, tenemos una media del coste del kWh geotérmico para instalación de calefacción y ACS de 0,066 € y para instalaciones de calefacción, refrigeración y ACS obtenemos una media de 0,057, por tanto, mas barato.

Estos datos han sido representados en el Gráfico 17, donde observamos que el coste del kWh en instalaciones de frio calor y ACS en todos los municipios es más bajo que en las instalaciones donde solo se cubre la demanda de calor y ACS.

El 87,6% de las viviendas de la Región poseen calefacción. De ellas, el 40,6% es un sistema eléctrico y el 28,1% es bomba de calor²¹. Por tanto, para este estudio tomaremos que el 70% de los sistemas son eléctricos y el 30% funcionan con Gas Natural, mientras que todos los sistemas de Aire Acondicionado son eléctricos.

Por tanto y por comparación, se ha tomado el dato del coste del kWh eléctrico para uso residencial correspondiente a la tarifa de Ultimo Recurso (TUR) publicada en BOE de julio de 2011, con un precio de 0,1423 €/kwh para una potencia no superior a 10 kW, y la tarifa de Gas Natural también de ultimo Recurso de 0,0542 €/kWh publicada en BOE de 22 de junio de 2011.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

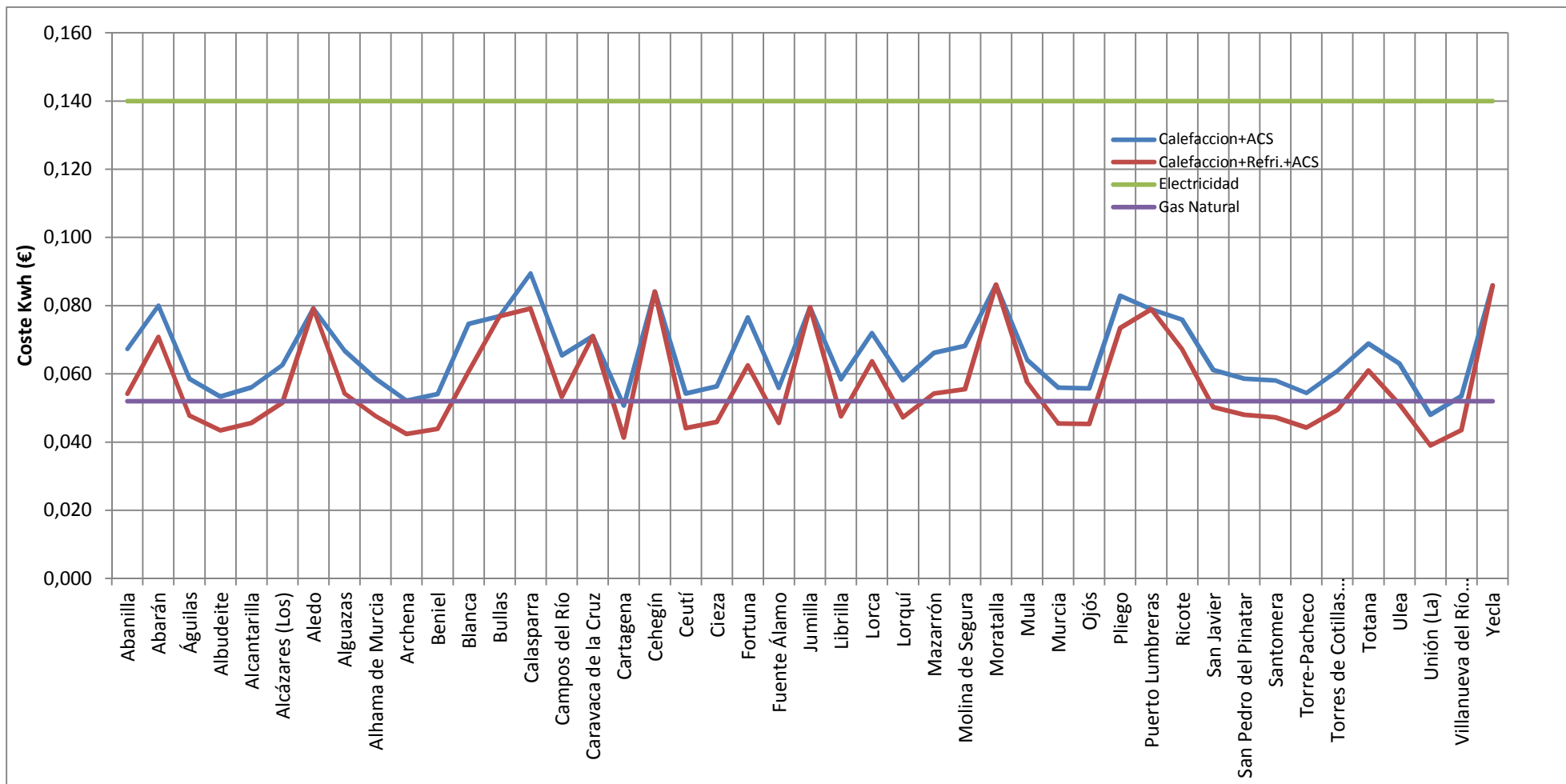


Gráfico 17 Coste del kWh geotérmico y convencional

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

En el Gráfico 17 observamos que todos los municipios tienen un precio de kWh geotérmico mucho más barato que el eléctrico. Comparado con el gas natural, el kWh geotérmico es más barato en algunos de los municipios para instalaciones geotérmicas que cubren las demandas de frío y calor. En los municipios de Cartagena y La Unión, el coste del kWh es más barato con geotermia incluso para instalaciones que solo cubren la demanda de calefacción y ACS.

Por otra parte, el tiempo requerido para que el coste de la energía alcance al coste de la instalación es denominado **Período de Retorno económico** y es el principal indicador del beneficio económico para el propietario de una vivienda.

Para calcular el coste de la energía se ha de medir qué cantidad de energía se ha de consumir por un sistema convencional para cubrir la demanda energética de la vivienda. Por lo tanto, se ha calculado cual sería el coste de la energía si cubriéramos la demanda anual de calefacción, refrigeración y ACS para una vivienda tipo por municipio con un sistema eléctrico y/o de gas natural a los precios antes mencionados y se ha dividido por el coste de la instalación por municipio, obteniendo de este modo el período de retorno en años de la inversión. Tabla 29 y Figura 35.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Precio de la instalación (€)	Coste energía calefacción y ACS (€)	Coste energía Refrigeración (€)	Precio de toda la energía consumida anual (€)	Periodo retorno inversión calefacción ACS (años)	Periodo retorno inversión calefacción ACS y Refrigeración (años)
Abanilla	5546,21	1172,70	283,70	1456,40	5	4
Abarán	8836,69	1572,27	203,25	1775,52	6	5
Águilas	4737,83	1151,07	259,17	1410,24	4	3
Albudeite	4629,64	1234,59	282,72	1517,31	4	3
Alcantarilla	4965,41	1260,31	289,98	1550,29	4	3
Alcázares (Los)	4311,39	980,02	210,94	1190,95	4	4
Aledo	8083,73	1452,94	0,00	1452,94	6	6
Alguazas	6080,44	1295,06	299,78	1594,84	5	4
Alhama de Murcia	5136,05	1247,84	286,46	1534,30	4	3
Archena	4681,11	1277,27	294,76	1572,04	4	3
Beniel	4882,16	1285,20	297,00	1582,20	4	3
Blanca	6534,90	1245,63	285,84	1531,47	5	4
Bullas	11766,27	2176,16	0,00	2176,16	5	5
Calasparra	9830,75	1564,29	202,04	1766,33	6	6
Campos del Río	5701,42	1239,56	284,13	1523,69	5	4
Caravaca de la Cruz	8864,28	1775,76	0,00	1775,76	5	5
Cartagena	4233,97	1188,38	269,69	1458,07	4	3
Cehegín	9401,17	1591,02	0,00	1591,02	6	6
Ceutí	4710,81	1235,76	283,05	1518,81	4	3
Cieza	4849,76	1224,47	279,87	1504,34	4	3
Fortuna	6137,91	1140,87	256,30	1397,17	5	4
Fuente Álamo	4611,24	1173,49	265,49	1438,98	4	3
Jumilla	8867,43	1585,74	0,00	1585,74	6	6

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Municipio	Precio de la instalación (€)	Coste energía calefacción y ACS (€)	Coste energía Refrigeración (€)	Precio de toda la energía consumida anual (€)	Periodo retorno inversión calefacción ACS (años)	Periodo retorno inversión calefacción ACS y Refrigeración (años)
Librilla	5037,95	1226,41	280,42	1506,83	4	3
Lorca	8019,49	1586,65	205,43	1792,08	5	4
Lorquí	5194,03	1271,91	293,25	1565,16	4	3
Mazarrón	4861,57	1045,37	229,37	1274,74	5	4
Molina de Segura	5850,76	1220,67	278,80	1499,48	5	4
Moratalla	12531,90	2070,12	0,00	2070,12	6	6
Mula	8114,32	1801,72	204,63	2006,36	5	4
Murcia	4956,86	1260,75	290,10	1550,85	4	3
Ojós	4902,83	1252,19	287,69	1539,88	4	3
Pliego	9057,35	1554,50	200,55	1755,05	6	5
Puerto Lumbreras	8617,95	1553,30	0,00	1553,30	6	6
Ricote	8537,41	1602,26	207,80	1810,05	5	5
San Javier	4390,18	1021,35	222,59	1243,95	4	4
San Pedro del Pinatar	4351,13	1056,74	232,57	1289,32	4	3
Santomera	4913,49	1204,83	274,33	1479,16	4	3
Torre-Pacheco	4579,42	1198,84	272,64	1471,48	4	3
Torres de Cotillas (Las)	5399,77	1262,94	290,72	1553,66	4	3
Totana	7455,98	1540,83	198,48	1739,31	5	4
Ulea	5970,84	1348,43	314,83	1663,26	4	4
Unión (La)	4398,72	1303,53	302,17	1605,70	3	3
Villanueva del Río Segura	4823,49	1282,46	296,22	1578,68	4	3
Yecla	9377,01	1553,30	0,00	1553,30	6	6

Tabla 29 Período de Retorno de la inversión de la instalación geotérmica

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

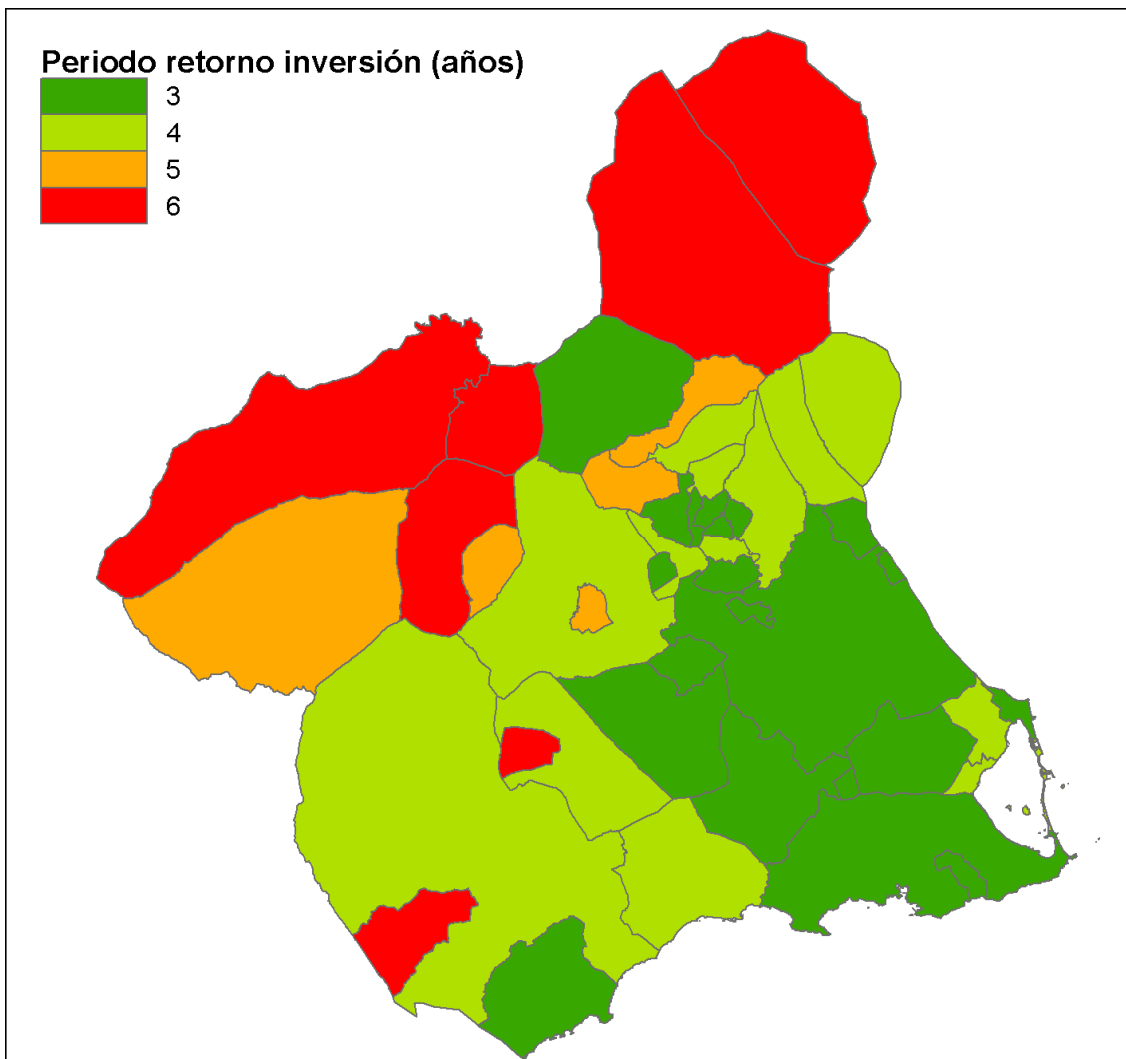


Figura 35 Mapa GIS Período de Retorno de la instalación geotérmica

El período oscila entre los 3 y 6 años, siendo el de 3 años el mayoritario con un 45% del total de los municipios; a este le sigue el periodo de los 4 años, con un 30% del total, 6 años, con un 15%, y 5 años de retorno para el 10% de los municipios. El período de retorno medio de la Región de Murcia es de 4 años.

En la Figura 35 se observa que los municipios que presentan unas condiciones óptimas de inversión con 3 años de retorno de la misma están situados en su mayoría en el este de la Región, mientras que son los del norte y oeste los que poseen un período mas elevado.

EL factor que mas influye en este período es el coste de la instalación, que a su vez está fuertemente influenciado por la longitud de los intercambiadores.

9.6. Beneficios financieros para el presupuesto regional

La contaminación producida por una fuente energética convencional es normalmente expresada con una cantidad equivalente de CO₂ para cada kWh producido. Esta cantidad es llamada factor de emisión.

La relación entre el coste de la instalación y el equivalente en emisiones de CO₂ ahorradas para un periodo fijo es un indicador financiero usado para el asesoramiento local de la conveniencia de una inversión en geotermia de muy baja entalpía².

En la Región de Murcia, la calefacción eléctrica y la basada en bomba de calor son las más usadas con un 40,6% y 28,1 % respectivamente. El 10% es calefacción de gas, y el resto es una combinación de los tres anteriores. El sistema de Aire Acondicionado es un sistema eléctrico²¹.

El factor de emisión del mix eléctrico español es de 0,252 Kg de CO₂ por kWh, mientras que el del Gas Natural es de 0,372 Kg de CO₂ por kWh²².

Este indicador se ha calculado para un período de 10 años. Las emisiones de CO₂ ahorradas se han calculado multiplicando los factores de emisión por los consumos en kWh de calefacción (suponiendo un consumo eléctrico del 70% y un 30% de gas natural) y refrigeración (solo eléctrico), obteniéndose un valor en € por Kg de CO₂.

Los valores bajos de este indicador financiero representan áreas donde el coste de instalar geotermia es más bajo y la conveniencia de la inversión es más alta. Tabla 30.

Municipio	Precio de la instalación (€)	Emisiones CO ₂ ahorradas (Kg)	Coste instalación / Emisiones CO ₂ (€/Kg)
Abanilla	5546,21	25994,9	0,213
Abarán	8836,69	26895,7	0,329
Águilas	4737,83	29576,4	0,160
Albudeite	4629,64	30514,1	0,152
Alcantarilla	4965,41	24969,7	0,199
Alcázares (Los)	4311,39	23257,2	0,185
Aledo	8083,73	26210,7	0,308
Alguazas	6080,44	30563,7	0,199
Alhama de Murcia	5136,05	30923,6	0,166
Archena	4681,11	31231,1	0,150
Beniel	4882,16	22263,9	0,219
Blanca	6534,90	49105,1	0,133
Bullas	11766,27	20873,9	0,564
Calasparra	9830,75	28665,3	0,343
Campos del Río	5701,42	40971,2	0,139
Caravaca de la Cruz	8864,28	24051,5	0,369
Cartagena	4233,97	36976,5	0,115
Cehegín	9401,17	25010,4	0,376

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Ceutí	4710,81	29794,6	0,158
Cieza	4849,76	28046,3	0,173
Fortuna	6137,91	28288,9	0,217
Fuente Álamo	4611,24	36795,4	0,125
Jumilla	8867,43	24821,2	0,357
Librilla	5037,95	26111,5	0,193
Lorca	8019,49	29380,1	0,273
Lorquí	5194,03	26350,4	0,197
Mazarrón	4861,57	28767,0	0,169
Molina de Segura	5850,76	46834,2	0,125
Moratalla	12531,90	23757,2	0,527
Mula	8114,32	29140,1	0,278
Murcia	4956,86	30480,5	0,163
Ojós	4902,83	25849,7	0,190
Pliego	9057,35	34988,7	0,259
Puerto Lumbreras	8617,95	21335,0	0,404
Ricote	8537,41	24351,0	0,351
San Javier	4390,18	25329,3	0,173
San Pedro del Pinatar	4351,13	28503,1	0,153
Santomera	4913,49	29121,4	0,169
Torre-Pacheco	4579,42	30388,8	0,151
Torres de Cotillas (Las)	5399,77	25737,4	0,210
Totana	7455,98	21767,6	0,343
Ulea	5970,84	32866,1	0,182
Unión (La)	4398,72	31733,2	0,139
Villanueva del Río Segura	4823,49	31201,4	0,155
Yecla	9377,01	31437,1	0,298

Tabla 30 Indicador financiero de invertir en geotermia

Con los datos obtenidos de este ratio, se ha realizado un mapa en GIS para la valoración de los municipios que presentan mayor interés en invertir en geotermia. Figura 36.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

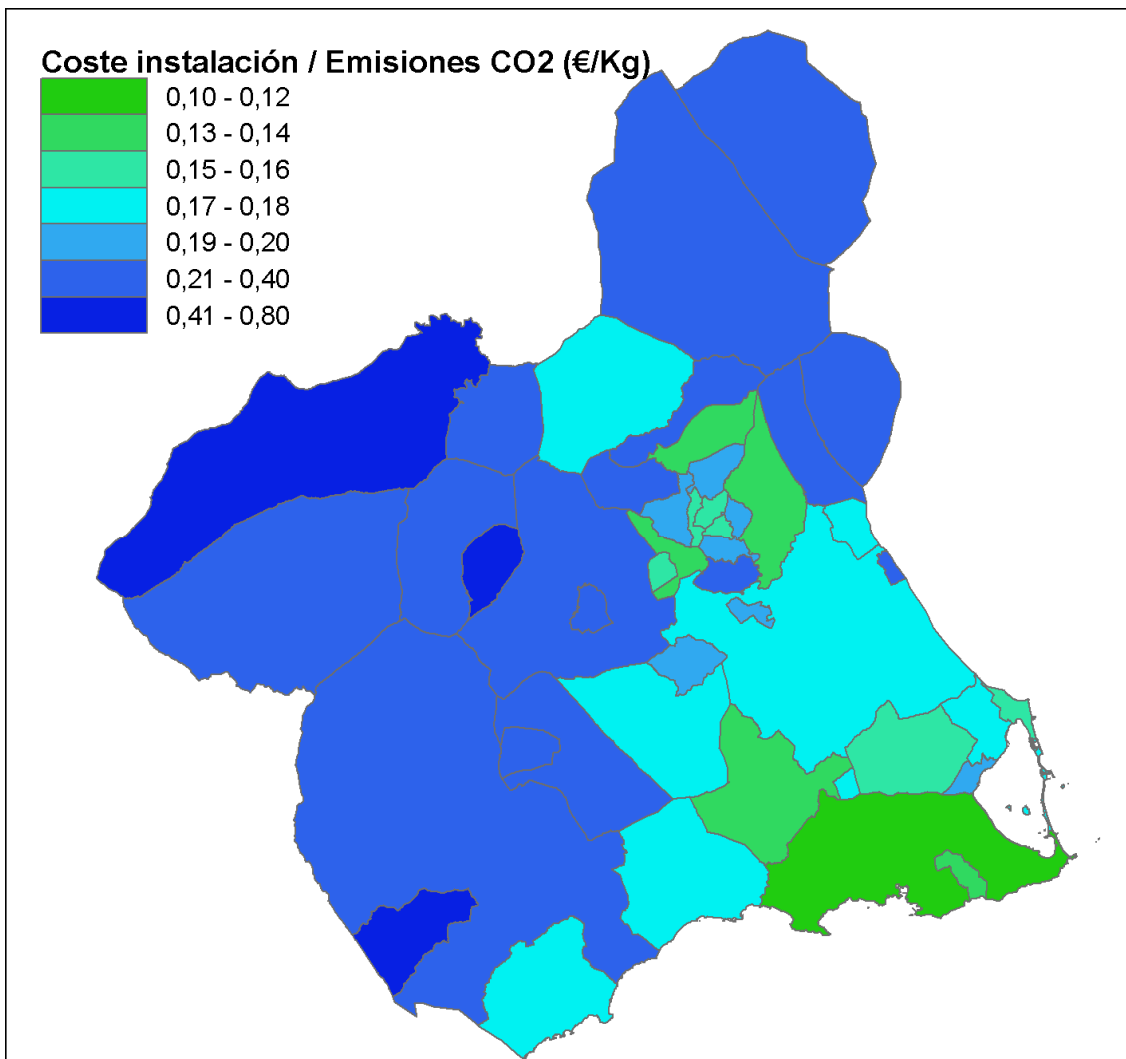


Figura 36 Mapa GIS Indicador coste instalación entre emisiones de CO₂

De acuerdo con este indicador, es el municipio de Cartagena el que, invirtiendo en una instalación geotérmica para climatización, se obtiene el ahorro de CO₂ más barato de la Región. Esto se debe principalmente al alto ahorro de CO₂ que suponen las instalaciones geotérmicas para Cartagena con respecto al bajo coste de la instalación.

Por el contrario, son los municipios que salen más desfavorecidos Jumilla, Yecla, Moratalla, Bullas, Puerto Lumbreras y Totana, entre otros.

9.7. Indicador para emprendedores: tamaño de mercado y atractivo del producto

En este apartado, se han utilizado una serie de indicadores económicos básicos. Estos indicadores son útiles para un inversor que desee incrementar su conocimiento sobre el mercado de las bombas de calor geotérmico, y poder formular hipótesis y predicciones sobre sus inversiones.

Considerando que dentro de los próximos 5-10 años todas las familias murcianas actuarán para mejorar el rendimiento energético de sus viviendas, se puede asumir que el tamaño de mercado en el territorio, esto es, el valor total de todas las instalaciones de bombas de calor geotérmicas, es proporcional a la población residente.

Para un municipio, el mercado potencial puede ser expresado como el gasto total requerido para instalar geotermia en todas las viviendas para satisfacer la demanda total energética para climatización y ACS. El tamaño de mercado se puede expresar de la siguiente forma:

$$C_{BHE} \cdot N$$

Donde C_{BHE} es el coste medio de la instalación geotérmica por municipio y N es el número de viviendas por municipio. Los datos se detallan en la Tabla 31.

	Precio de la instalación (€)	Numero viviendas	Tamaño de mercado (M€)
Abanilla	5546,21	3198	17,74
Abarán	8836,69	5783	51,10
Águilas	4737,83	17179	81,39
Albudeite	4629,64	665	3,08
Alcantarilla	4965,41	13941	69,22
Alcázares (Los)	4311,39	20710	89,29
Aledo	8083,73	657	5,31
Alguazas	6080,44	2826	17,18
Alhama de Murcia	5136,05	7109	36,51
Archena	4681,11	5794	27,12
Beniel	4882,16	2880	14,06
Blanca	6534,90	2813	18,38
Bullas	11766,27	4791	56,37
Calasparra	9830,75	4449	43,74
Campos del Río	5701,42	919	5,24
Caravaca de la Cruz	8864,28	10750	95,29
Cartagena	4233,97	102045	432,06
Cehegín	9401,17	6325	59,46
Ceutí	4710,81	2988	14,08
Cieza	4849,76	15400	74,69
Fortuna	6137,91	4210	25,84

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Fuente Álamo	4611,24	5723	26,39
Jumilla	8867,43	9100	80,69
Librilla	5037,95	2060	10,38
Lorca	8019,49	30270	242,75
Lorquí	5194,03	2284	11,86
Mazarrón	4861,57	22536	109,56
Molina de Segura	5850,76	19758	115,60
Moratalla	12531,90	5376	67,37
Mula	8114,32	6269	50,87
Murcia	4956,86	148850	737,83
Ojós	4902,83	327	1,60
Pliego	9057,35	1720	15,58
Puerto Lumbreras	8617,95	5237	45,13
Ricote	8537,41	829	7,08
San Javier	4390,18	30063	131,98
San Pedro del Pinatar	4351,13	16323	71,02
Santomera	4913,49	4906	24,11
Torre-Pacheco	4579,42	9460	43,32
Torres de Cotillas (Las)	5399,77	6245	33,72
Totana	7455,98	10941	81,58
Ulea	5970,84	420	2,51
Unión (La)	4398,72	5407	23,78
Villanueva del Río Segura	4823,49	657	3,17
Yecla	9377,01	12592	118,08

Tabla 31 Tamaño de Mercado

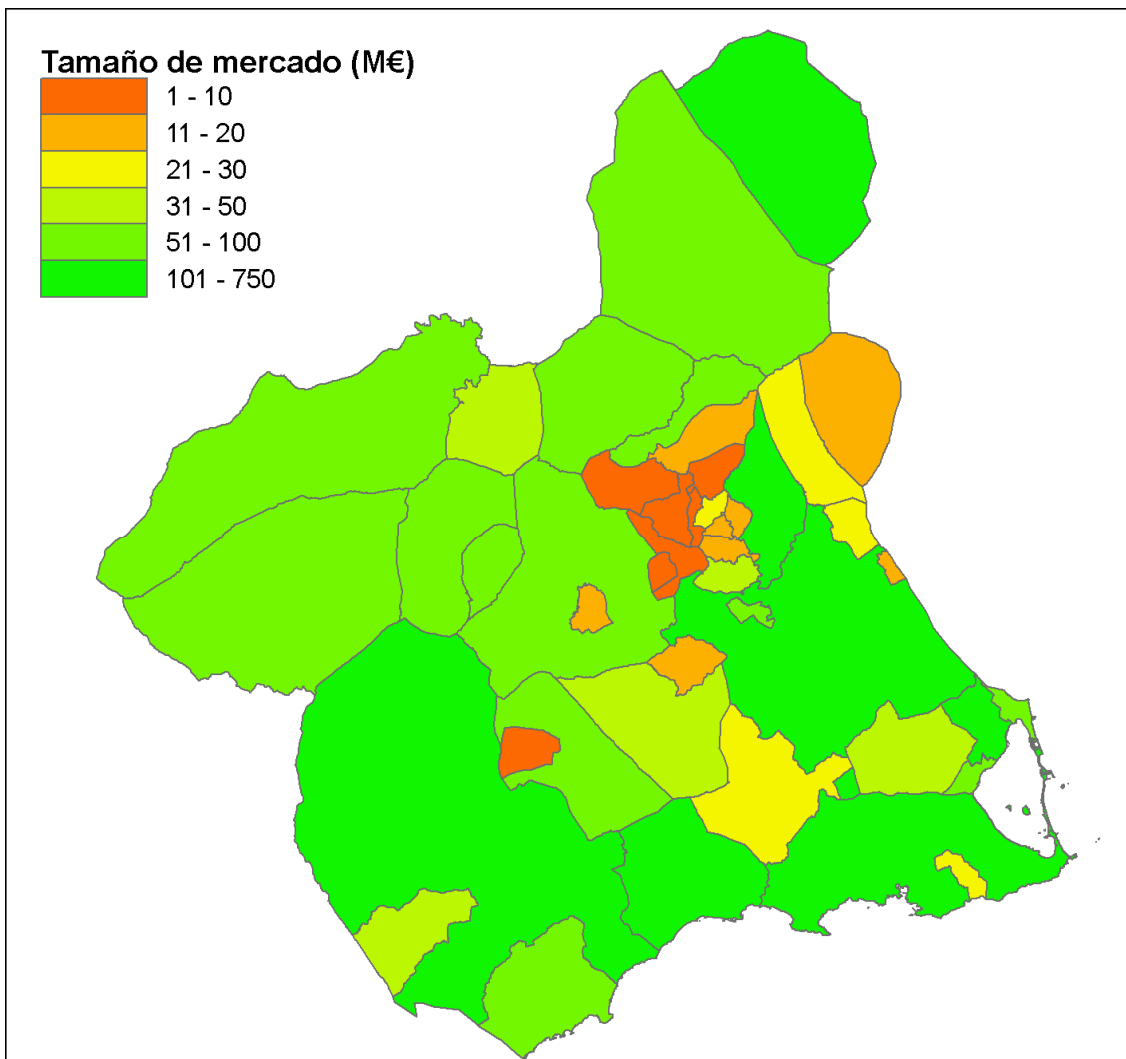


Figura 37 Mapa GIS Tamaño de mercado

Este indicativo es directamente proporcional a la población del municipio, por lo que a mayor población mayor es el tamaño de mercado. Destacan los municipios de Murcia, Cartagena y Lorca debido a que poseen un número de población mucho más alto con respecto a los otros municipios. Entre ellos también se destaca Yecla, Caravaca y Jumilla no tanto por el tamaño de su población, sino por el coste que supone la instalación en sí.

En general se puede afirmar que las bombas de calor presentan un tamaño de mercado en la Región de Murcia total que ronda los 3.300 millones de euros.

Además, el mercado de las bombas de calor también depende del atractivo que este producto posee entre los usuarios potenciales. La decisión de instalar una BCG juega un papel clave, tomando en cuenta que el alto coste de la inversión inicial es la principal barrera. Esta elección es tomada más en zonas donde la renta per cápita es más alta y donde el coste de la instalación geotérmica es más barata. Por lo tanto, un **indicador de atractivo de mercado** de la instalación es dado por el ratio entre la renta per cápita y el coste de la instalación. Tabla 32.

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Los datos de la Renta per cápita de los municipios han sido extraídos de CREM y pertenecen al año 2006. En las zonas donde el indicador es más alto son las zonas con mayor atractivo de instalar geotermia.

Municipio	Precio de la instalación (€)	Renta per cápita (€)	Indicador Atractivo de Mercado
Abanilla	5546,21	10018	2
Abarán	8836,69	9441	1
Águilas	4737,83	10078	2
Albudeite	4629,64	8018	2
Alcantarilla	4965,41	10882	2
Alcázares (Los)	4311,39	13318	3
Aledo	8083,73	9467	1
Alguazas	6080,44	9168	2
Alhama de Murcia	5136,05	11057	2
Archena	4681,11	9707	2
Beniel	4882,16	10746	2
Blanca	6534,90	9417	1
Bullas	11766,27	8766	1
Calasparra	9830,75	8930	1
Campos del Río	5701,42	11145	2
Caravaca de la Cruz	8864,28	9021	1
Cartagena	4233,97	11638	3
Cehegín	9401,17	7928	1
Ceutí	4710,81	9266	2
Cieza	4849,76	8334	2
Fortuna	6137,91	9837	2
Fuente Álamo	4611,24	12118	3
Jumilla	8867,43	8991	1
Librilla	5037,95	10904	2
Lorca	8019,49	10268	1
Lorquí	5194,03	11809	2
Mazarrón	4861,57	10565	2
Molina de Segura	5850,76	10971	2
Moratalla	12531,90	8354	1
Mula	8114,32	9045	1
Murcia	4956,86	12637	3
Ojós	4902,83	8506	2
Pliego	9057,35	8540	1
Puerto Lumbreras	8617,95	10267	1
Ricote	8537,41	8850	1
San Javier	4390,18	13576	3
San Pedro del Pinatar	4351,13	12727	3

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

Santomera	4913,49	11278	2
Torre-Pacheco	4579,42	12484	3
Torres de Cotillas (Las)	5399,77	11702	2
Totana	7455,98	10196	1
Ulea	5970,84	8839	1
Unión (La)	4398,72	9337	2
Villanueva del Río Segura	4823,49	8683	2
Yecla	9377,01	11515	1

Tabla 32 Indicador Atractivo de Mercado

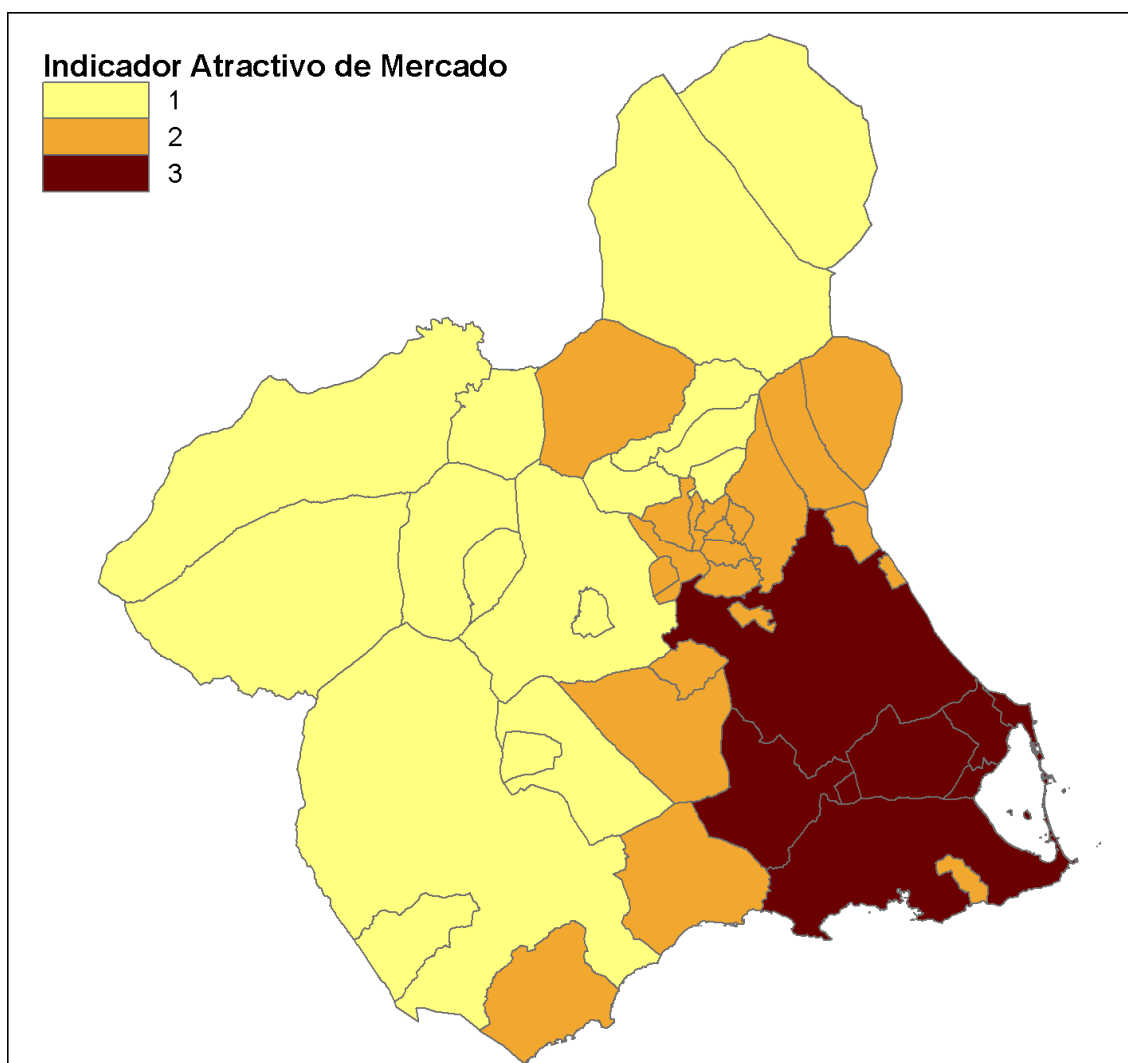


Figura 38 Mapa GIS Indicador Atractivo de Mercado

Siguiendo la tendencia que el indicador del período de retorno, los municipios del este de la Región son los que poseen un mayor Atractivo de mercado mayor, siendo tres veces mayor la renta per cápita que el coste de la instalación. Conforme avanzamos por la Región en dirección oeste, el indicador va disminuyendo hasta las zonas de menor atractivo de mercado.

10. Conclusiones

En este apartado se presenta un análisis cualitativo de los resultados obtenidos en los apartados anteriores.

Se ha **evaluado el potencial geotérmico de muy baja entalpía de toda la Región de Murcia** por medio de un sistema de Información Geográfica, y se ha establecido un marco Energético-Económico para este tipo de potenciales instalaciones en toda la geografía murciana.

La relación entre la calidad termal del sustrato y el calor específico extraíble del mismo ha quedado patente; siendo mas elevado este último en aquellas zonas arenosas donde el nivel del acuífero es mas superficial.

El periodo de retorno económico para una instalación geotérmica tiene un clara distribución en la Región de Murcia acorde con el calor extraíble. Éste período es mas elevado en las zonas del Norte donde la demanda energética total desciende por la no necesidad de refrigeración. El periodo de retorno es aproximadamente de 10 años en zonas con bajo calor extraíble y de 4 a 5 años en zonas de máximo potencial. Se puede por tanto concluir que los factores climáticos son secundarios en la mayoría de los casos con respecto a la calidad termal del sustrato.

Pero si atendemos a los factores climáticos, es mas rentable una instalación geotérmica en zonas climáticas B, donde existe demanda de calefacción y refrigeración, que en zonas donde solo funciona en modo de calefacción, como se dan en zonas climáticas C y D. Lo mismo sucede con el precio de kWh geotérmico, siendo mas barato en instalaciones que cubren la demanda completa anual de energía para calefacción, refrigeración y ACS que las que cubren solo la demanda de calefacción y ACS.

Se advierte también una relación directa entre el período de retorno y el indicador de Atractivo de Mercado, siendo los municipios con menor periodo de retorno los que presentan un mayor atractivo de mercado.

El coste del ahorro de 1 Kg de CO₂ es menor en los municipios del sureste de la Región y mayor en los municipios del noroeste donde también las instalaciones tienen un mayor coste. Por lo tanto, el coste de invertir en energía geotérmica somera tendrá un menos coste en los municipios del sureste murciano que conducen a un mejor periodo de retorno de la inversión, siendo mas interesante para las Empresas de Servicios Energéticos (SES). Por razones análogas, las ayudas dadas para la mejora de la eficiencia energética en viviendas en esta zona de la Región produce una contribución mas positiva al presupuesto regional que las dadas en las zonas del Noroeste.

Cartagena ha resultado ser uno de los municipios de la Región más idóneos para una instalación geotérmica. Es el municipio de la Región que mas viviendas posee con calefacción eléctrica (58,7%), y por lo tanto donde se hace mas necesaria una mejora de la eficiencia energética en viviendas. Y por ello posee un alto atractivo económico para las Empresas de Servicios Energéticos.

11. Bibliografía

1. Guía práctica de la Energía. Consumo Eficiente y responsable. IDAE. en <http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11406_Guia_Practica_Energia_3ed_A2010_509f8287.pdf>
2. Alberto Gemelli, Adriano Mancini, Sauro Longhi GIS-based energy-economic model of low temperature geothermal resources:A case study in the Italian Marche region.
3. InformeFomentoRenovables.pdf. en <<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/InformeFomentoRenovables.pdf>>
4. Plan Nacional de Energías Renovables 2011-2020. Borrador. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. en <http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_PER_2011-2020_Borrador26julio-l_c53dc770.pdf>
5. European Renewable Energy Council: Geothermal Energy. en <<http://www.erec.org/renewable-energy/geothermal-energy.html>>
6. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid Guía de la Energía Geotérmica. Comunidad de Madrid. en <http://zotero.org/support/quick_start_guide>
7. J.F. Urchueguía, M. Zacarés, J.M. Corberán, Á. Montero, J. Martos, H. Witte Comparison between the energy performance of a ground coupled water to water heat pump system and an air to water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast.
8. Vivienda EE+. La casa pasiva del Mediterráneo. en <http://www.energylab.es/fotos/091119133024_ZyeE.pdf>
9. FridleifssonetalIPCCGeothermalpaper2008FinalRybach20May08_000.pdf. en <http://www.iea-gia.org/documents/FridleifssonetalIPCCGeothermalpaper2008FinalRybach20May08_000.pdf>
10. Arif Hepbaslia, M. Tolga Balta A study on modeling and performance assessment of a heat pumpsystem for utilizing low temperature geothermal resources in buildings.
11. Younes Noorollahi, Ryuichi Itoi, Hikari Fujii, Toshiaki Tanaka GIS model for gethermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan.
12. Jay Egg, Bryan Clark Howard *Geothermal HVAC. Green heating and cooling.*
13. Thermische Nutzung des Untergeundes Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. VDI 4640. en <http://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/9197793.pdf>
14. *Norma UNE EN 15450. Sistemas de calefacción en edificios. Diseño de los sistemas de calefacción con bomba de calor.*
15. Initial geological considerations before installing ground source heat pump systems. Jon Busby, Melinda Lewis, Helen Reeves, Russell Lawley. en <http://www.bgs.ac.uk/research/energy/docs/final_paper.pdf>
16. Estudio de los Recursos Geotermicos de Andalucía.pdf. en <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/agenciadelaenergia/portal/com/bin/contenidos/proyectos/areas/energiasRenovables/hidraulicasNuevasEnergias/potencial_geotermico/1300195570334_estudio_recursos_geotermicos_andalucxa.pdf>
17. Escala de Calificación Energética.pdf. en <http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Escala_%20calif_energetica.pdf>
18. PV potential estimation utility. en <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
19. Comparación de la cartografía de la temperatura superficial y del aire mediante AVHRR y datos in situ en la Comunidad Valenciana. J. Quereda.; A.B Ruescas, E. Montón, J. Escrig, J. y B. Mollà. en <<http://www.aet.org.es/congresos/xi/ten75.pdf>>

Proyecto Fin de Máster: Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS.

20. Energylab. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. Nuevas tecnologías en climatización: Bomba de calor geotérmica.
21. Centro Regional de Estadística de la Región de Murcia. en <<http://www.carm.es/econet/>>
22. ENDESA EDUCA. en <<http://www.endesaeduca.com/>>