



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE
CAMINOS CANALES Y PUERTOS,

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Análisis técnico-económico de la cimentación
termoactiva para una vivienda unifamiliar, en Carrer de
L'Horta de Meliana (Valencia).

Presentado por

Picazo Utiel, David

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2018/2019

Fecha: 3/9/2019

Tutor: Serón Gáñez, José Bernardo

Contenido

1	OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO.	2
1.1	ANTECEDENTES.	3
1.2	PROCESO DE ELABORACIÓN.	4
1.3	OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN GENERAL.	5
1.4	CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO.	6
1.5	BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.	7
1.6	OBTENCIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS Y GEOTÉRMICOS.	8
1.7	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA Y GEOTÉRMICA DEL TERRENO.	9
1.8	ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LA CIMENTACIÓN Y DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.	10
1.8.1	SOLUCIONES DE CIMENTACIÓN.	10
1.8.2	SOLUCIONES PARA EL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.	13
1.9	PROCESO DE DISEÑO PARA LA SOLUCIÓN POR PILOTES.	14
1.10	CARACTERÍSTICAS DE LOS PILOTES.	16
1.11	PROCESO DE DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.	17
1.12	CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO DISEÑADO.	20
1.13	VALORACIÓN ECONÓMICA.	21
1.13	RESUMEN DEL DISEÑO REALIZADO.	22
1.14	DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL PRESENTE ESTUDIO.	23
1.15	CONCLUSIONES.	24
1.15.1	CONCLUSIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO.	24
1.15.2	CONCLUSIONES PARTICULARES DEL AUTOR DEL ESTUDIO.	25
	BIBLIOGRAFÍA	26

1 OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO.

El objeto del estudio es el diseño geotécnico de la cimentación de una vivienda unifamiliar en el municipio de Meliana (Valencia), con la implementación de un intercambiador geotérmico para el consumo energético de climatización, mediante una bomba de calor geotérmica.

Conjuntamente al diseño técnico, se valoran aspectos económicos y se incluye una memoria económica para la solución propuesta.

El estudio se realiza con la finalidad de obtener el título del Grado en Ingeniería Civil por la Escuela de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

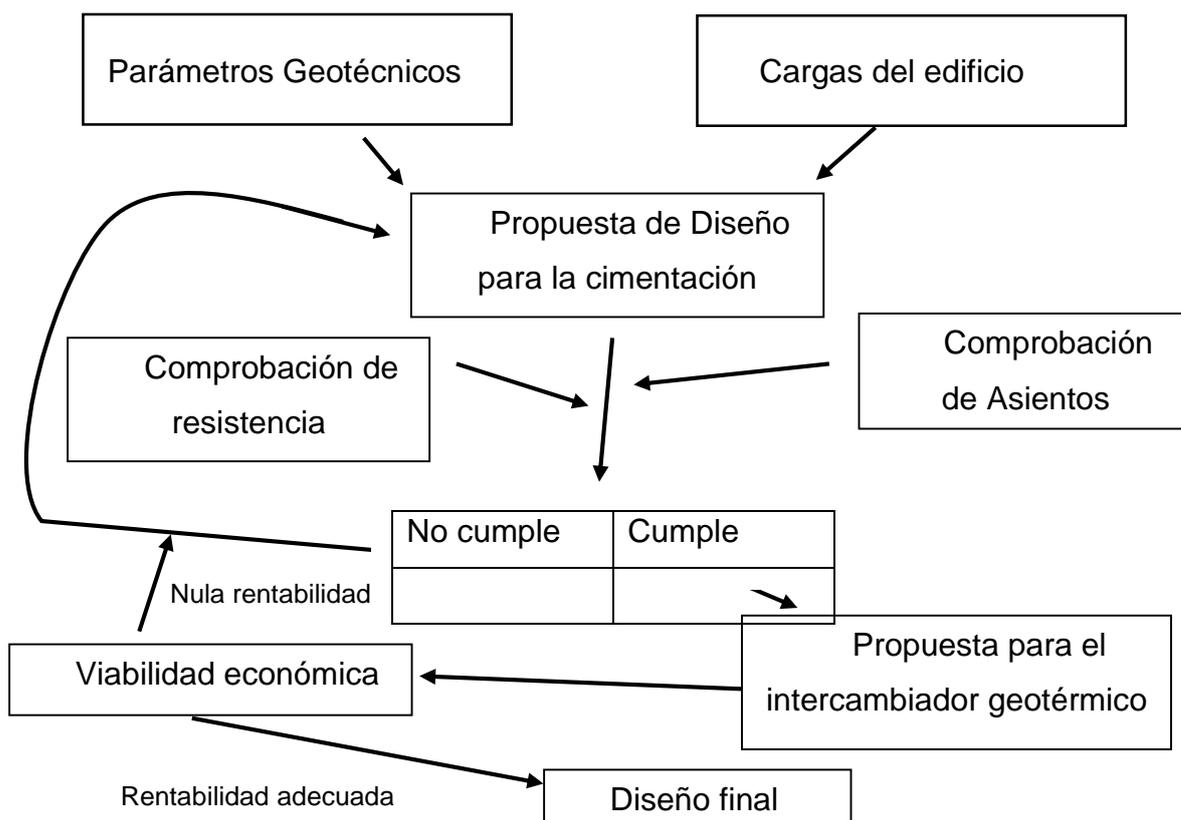
1.1 ANTECEDENTES.

Se parte de un plano en planta con las cargas de la estructura transmitidas a la cimentación, junto con un perfil del terreno, extraído de un sondeo geotécnico de los alrededores de la zona (Ver Anejos 1 y 2).

El perfil del terreno contiene parámetros geotécnicos imprescindibles para abordar el diseño de la cimentación, entre ellos se destacan: El peso específico aparente en KN/m^2 , ensayo SPT, el ángulo de rozamiento interno con drenaje, la cohesión en KN/m^2 , la resistencia a corte sin drenaje en KN/m^2 , la humedad natural, los límites de Atterberg, la identificación y clasificación del suelo, la fracción gruesa y fina, el módulo de elasticidad en MN/m^2 y el coeficiente de Poisson en condiciones drenadas.

1.2 PROCESO DE ELABORACIÓN.

La elaboración de este trabajo parte de unos datos iniciales para las cargas transmitidas al terreno, y de unos datos geotécnicos del mismo. A partir de ellos, se inicia un proceso iterativo de diseño-comprobación, para diferentes tipologías de cimentación, que posteriormente es complementado con el diseño del intercambiador de calor.



1.3 OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN GENERAL.

Los objetivos principales de las actuaciones diseñadas son, por una parte definir la cimentación adecuada de una vivienda unifamiliar y por otra diseñar dicha cimentación como cimentación termoactiva que permita reducir los costes de energía para climatización de uso residencial, además de mitigar el impacto medioambiental de las fuentes de energía tradicionales empleadas para tal fin.

El trabajo se centra, como se ha dicho, en el diseño de la cimentación y su integración técnico-económica con una bomba de calor geotérmica, de tal forma que al realizar un diseño conjunto se optimicen los costes de inversión para la instalación del intercambiador de la bomba de calor geotérmica.

El diseño de la cimentación tiene como objetivo mantener la estabilidad de la vivienda en el terreno escogido, así como limitar las deformaciones y fisuras que se puedan producir por los asientos, asumiendo unas condiciones desfavorables.

Por otro lado, el diseño del intercambiador geotérmico tiene como finalidad, la climatización de la vivienda a una temperatura constante anual de 21°C, utilizando para ello, una bomba de calor geotérmica.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

La parcela se sitúa en una zona residencial, cercana a unos campos de cultivo, con espacio suficiente como para albergar la superficie del edificio junto con una zona perimetral ajardinada (Ver Anejo 1).

El edificio se define como una vivienda unifamiliar de uso residencial, que consta de tres plantas, de las cuales solo se pretende climatizar las dos primeras, quedando la última planta, parcialmente destinada a una terraza para el recreo personal.

No se tiene información precisa sobre las características de la estructura, ni sobre la configuración arquitectónica de la vivienda, por lo que se diseña atendiendo solamente a criterios de estabilidad geotécnica, dejando a libre elección del usuario el diseño interior de la vivienda.

Dada la escasez de información arquitectónica, se considera efectos de diseño de la bomba de calor geotérmica, que la vivienda solamente se compone del cerramiento exterior, con sus correspondientes ventanas.

También se presupone que en las cargas de cada pilar se ha tenido en cuenta la combinación de acciones más desfavorable.

1.5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.

Los sistemas de bomba de calor geotérmica utilizan la energía geotérmica de baja entalpía para mejorar la eficiencia de una bomba de calor por medio de un intercambiador geotérmico enterrado, que mantiene la temperatura del evaporador, en modo calefacción, a mayor temperatura que el ambiente exterior, dada la inercia térmica del terreno conforme se incrementa la profundidad. Para el modo refrigeración, el intercambiador geotérmico mantiene la temperatura del condensador más baja que la del ambiente exterior, disminuyendo, por tanto, la diferencia de temperaturas entre el foco caliente y el foco frío, aumentando así el rendimiento del sistema (Ver Anejo 4). Este funcionamiento en ambos modos, es posible gracias a que las bombas de calor geotérmicas pueden funcionar en sentidos de circulación inversos.

Los ahorros de energía respecto a una bomba de calor aerotérmica, pueden variar desde el 20% hasta el 40%, dependiendo de las condiciones del proyecto. A pesar de ello, los costes de instalación son mucho mayores que en las aerotérmicas, por lo que el diseño integral de la cimentación con la instalación geotérmica, minimiza los costes de instalación hasta hacerlos competentes con los de la aerotermia (Ver anejo 4).

1.6 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS Y GEOTÉRMICOS.

Dado que no se cuenta con un estudio geotécnico específico de la parcela en la que se sitúa la vivienda, se han deducido los parámetros geotécnicos necesarios de los ensayos realizados en muestras de un sondeo de los alrededores y se han completado mediante tablas y correlaciones de la literatura geotécnica (Ver Anejo 2).

Pese a ello, se ha propuesto un estudio geotécnico que debería realizarse en la parcela con la finalidad de cubrir todos los datos necesarios para el correcto diseño de la cimentación y el intercambiador geotérmico (Ver Anejo 3).

Se da una situación similar para los parámetros térmicos, siendo en este caso inexistente cualquier tipo de información específica o de los alrededores, por lo que se han deducido los correspondientes datos a partir de tablas y estudios de la literatura geotérmica (Ver Anejo 5), y se ha propuesto un ensayo geotérmico a realizar (Ver Anejo 6).

1.7 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA Y GEOTÉRMICA DEL TERRENO.

De los análisis realizados en los Anejos 2 y 7, se deduce la siguiente composición del terreno.

La zona se compone de limos y arcillas de consistencia media-blanda, con un nivel de tensiones cercano a la tensión de preconsolidación, por lo que probablemente nos encontremos ante unas arcillas normalmente consolidadas. También aparecen estratos arenosos de menor relevancia con pasadas arcillosas.

El nivel freático se sitúa muy alto, a una profundidad de 2.5 metros bajo la superficie, por lo que también se plantea el uso de un circuito abierto para el intercambiador geotérmico (Ver Anejo 4).

Los primeros 60 centímetros desde la superficie del terreno se corresponden con un relleno antrópico, bajo el que se sitúa un estrato arenoso de compacidad media hasta los 2.85 metros de profundidad, donde se inicia una secuencia de estratos arcillosos de características similares, para los que se ha considerado unos parámetros geotécnicos representativos de todo el conjunto hasta los 19.5 metros de profundidad. A partir de esta profundidad, los parámetros mejoran considerablemente, no obstante, los parámetros geotécnicos utilizados han sido los más desfavorables, obviando la mejora del tramo final.

1.8 ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LA CIMENTACIÓN Y DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.

El diseño del intercambiador geotérmico viene fuertemente condicionado por la elección de la tipología de la cimentación y de su geometría. Por ello, primero se determina la tipología de cimentación que cumple con la estabilidad geotécnica, posteriormente se propone la tipología de intercambiador más adecuada para la solución anterior (Ver Anejo 7). Finalmente se dimensiona la cimentación (Ver Anejo 9), y se integra en ella el diseño del intercambiador geotérmico (Ver Anejo 8).

1.8.1 SOLUCIONES DE CIMENTACIÓN.

- **Solución por zapatas:**

La solución por zapatas aisladas permite implementar intercambiadores geotérmicos en el espacio disponible entre zapatas, ya sea de forma vertical u horizontal, además de ser la tipología de cimentación más barata de ejecutar en la mayoría de los casos.

A pesar de lo anterior, la primera tipología descartada es la solución por zapatas aisladas, pues el factor de seguridad para la presión de hundimiento, considerando diferentes modelos, no llega a un valor de 3, para unas dimensiones y profundidades razonables.

Al contar con una escasa fiabilidad en cuanto a los datos del terreno, factores de seguridad inferiores a 3 comportan un riesgo intolerable para la estructura.

Si se imponen las dimensiones de las zapatas para lograr un factor de seguridad de 3, para una profundidad óptima, la superficie de zapatas supera el 50% de la superficie en planta del edificio, por lo que no es una solución económicamente viable (Ver Anejo 7).

- **Solución por losa:**

La solución por losa parece más razonable que la solución por zapatas aisladas, frente a hundimiento, pues el elevado ancho de cimentación hace que se supere con creces el factor de seguridad de 3.

La solución mediante emparrillado de cimentación queda descartada por la mayor necesidad de mano de obra. También hay que tener en cuenta que el comportamiento geotécnico de un emparrillado es similar al de una losa, al poder considerarse como una losa aligerada.

La implementación del intercambiador geotérmico en este caso es más difícil, pues o se realiza independientemente de la cimentación, en una zona adyacente, o se introduce en el interior de la losa, que conlleva importantes problemas estructurales.

La solución por losa presenta grandes problemas de asiento, debido al gran volumen de terreno afectado por el elevado ancho de cimentación. Esto, junto con la presencia de arcillas de consistencia media-blanda, y normalmente consolidadas bajo el nivel freático, produce asientos por consolidación intolerables.

- **Solución mediante mejora del terreno:**

La única opción para poder ejecutar una cimentación superficial es la de realizar una mejora del terreno, por ejemplo, mediante una precarga, aunque los costes debidos a los materiales y al tiempo de ejecución podrían verse fuertemente encarecidos, además de comportar riesgos para las estructuras vecinas (Ver Anejo 7).

- **Solución por pilotes:**

Al descartar las soluciones anteriores, la única solución viable y que además, como se verá, mejor implementación consigue con el intercambiador geotérmico, es la solución por pilotes, que se define a continuación (Ver Anejos 8 y 9).

Para la elección de la tipología de pilotes a ejecutar, se consideran posibles inestabilidades en el sostenimiento de las paredes de la perforación, y se proponen diferentes métodos para su control, como son el empleo de lodos tixotrópicos o de camisas metálicas. Finalmente, dada la elevada altura del nivel freático, se propone realizar la extracción de material por medio de la rotación de un Cazo o “Bucket”, considerando el posible bombeo de bentonita a través de la perforación (CPI-6).

1.8.2 SOLUCIONES PARA EL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.

En el Anejo 4 se describen diferentes tipologías y características para el circuito primario (exterior) de la bomba de calor, así como su disposición en el terreno e integración con la cimentación, describiendo sus ventajas e inconvenientes. Pese a ello, la solución a adoptar en este caso, es inmediata, pues al elegir la tipología de pilotes para la cimentación, se hace evidente la elección de pilotes termoactivos para el intercambiador de calor. Esto es así, debido a que las necesidades de potencia se pueden cubrir con un número de pilotes termoactivos inferior al número de pilotes simplemente estructurales. Por otro lado, al emplear esta tipología de intercambiador, se produce un ahorro considerable en costes de inversión por parte del intercambiador geotérmico, al ser aprovechable, por las dos partes, la partida económica de la excavación de pilotes.

En el Anejo 8 se contrastan diferentes hipótesis para la geometría del circuito, sus dimensiones, profundidad, caudal, líquido circulante, potencia de la bomba manométrica y potencia de la bomba de calor. La correcta elección de estos parámetros mejora la eficiencia del sistema reduciendo costes de mantenimiento y de inversión.

Al mismo tiempo, se estudia su integración con la cimentación, adaptando sus dimensiones con las de los pilotes previamente diseñados, de forma que se minimicen los costes de inversión y mantenimiento

1.9 PROCESO DE DISEÑO PARA LA SOLUCIÓN POR PILOTES.

Los pilotes se dimensionan siguiendo las indicaciones del Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Seguridad Estructural/Cimientos, para cumplir satisfactoriamente todas las comprobaciones necesarias.

El dimensionamiento se aborda desde un enfoque técnico-económico para optimizar sus dimensiones. Para ello, se utilizan las expresiones matemáticas que permiten estimar la resistencia por punta y por fuste, y se particularizan para el perfil geotécnico de aplicación, dejando como variables de diseño el diámetro del pilote y su profundidad.

Se dividen los pilares en tres grupos, según la magnitud de sus cargas y se obtiene, para cada grupo, una tabla donde se muestran las profundidades necesarias para un factor de seguridad de 3, en función del diámetro y el número de pilotes por encepado.

Posteriormente, se eligen encepados con un número de pilotes que permita una profundidad razonable, y se calcula una curva que relaciona la profundidad de los pilotes con su diámetro, con el fin de seleccionar un diámetro óptimo que minimiza la profundidad de pilotes.

Se elige el mismo diámetro, que mejor se ajusta al óptimo, para todos los pilotes, a fin de simplificar el proceso constructivo.

Para cada grupo de pilotes se asigna una profundidad determinada que cumple con el factor de seguridad de 3 y se diseña la geometría de los encepados.

La disposición geométrica final pretende minimizar el comportamiento en grupo, del total de pilotes, reduciéndose tal efecto para los pilotes de cada encepado. Con esta finalidad, se intenta que los pilotes de encepados distintos mantengan una distancia mínima de 3 diámetros.

Se ha programado una hoja de cálculo iterativa por medio de la herramienta Excel, para agilizar el proceso de dimensionamiento.

El proceso de dimensionamiento de los pilotes se detalla en profundidad en el Anejo 9.

Las dimensiones finales de los pilotes se detallan en los planos adjuntos.

1.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS PILOTES

Los pilotes finamente ejecutados cumplen con las comprobaciones del tope estructural, de pandeo y de asientos. Sin embargo, no se ha realizado un dimensionamiento detallado de su armadura ni de los encepados, por exceder el alcance de este trabajo fin de grado.

Se diseñan finalmente, cuatro grupos de pilotes, dispuestos según los planos adjuntos, en función de las cargas transmitidas por la estructura a cada encepado, todos ellos con un diámetro de 1 metro y longitudes en función del grupo al que pertenecen.

- Grupo 1: Formado por 2 encepados de 1 pilote, de longitud: 16.9 metros.
- Grupo 2: Formado por 3 encepados de 2 pilotes, de longitud: 13.2 metros.
- Grupo 3: Formado por 7 encepados de 3 pilotes, de longitud: 18.2 metros.
- Grupo 4: Formado por 3 encepados de 5 pilotes, de longitud: 21.4 metros.

Las características finales de los pilotes quedan reflejadas en el plano adjunto.

1.11 PROCESO DE DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.

Para el diseño del intercambiador geotérmico se siguen las indicaciones de la Guía Técnica para el Diseño de Sistemas de Bomba de Calor Geotérmica del IDAE. Con las formulaciones propuestas y unas condiciones de diseño, se dimensiona el intercambiador geotérmico, determinando características tales como, el diámetro, el espesor, el caudal para el fluido de trabajo, su geometría y materiales.

Se parte de una base de datos climatológicos para la ciudad de Valencia, aportados por el programa “Clima” de ATECYR, con el que se ha determinado la demanda energética de la vivienda para el mes más caluroso y más frío del año.

A partir de los datos para la demanda energética se selecciona una bomba de calor geotérmica del catálogo de la empresa “NIBE”, que cumpla con las necesidades energéticas.

Con todo ello, se recurre a la Guía Técnica para el Diseño de Sistemas de Bomba de Calor Geotérmica del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, empleando las formulaciones que en ella se describen.

Se obtiene una expresión para determinar la longitud del intercambiador geotérmico en función de diversas variables, de las cuales solo se destina al diseño: el caudal, el diámetro, el espesor de la tubería y su configuración geométrica.

El caudal de diseño se establece limitando el incremento de temperatura a la salida del fluido de trabajo (en este caso agua sin anticongelante) del evaporador en modo calefacción, y del condensador, para el modo refrigeración. Esta limitación es de 4^o C, que marca una cota inferior para el caudal, que en combinación con el diámetro final, deben producir un flujo turbulento para favorecer el intercambio de calor por convección.

Una vez establecido el caudal de diseño, se elige el modo más desfavorable para la longitud del intercambiador, en este caso, el modo refrigeración, para el que se calcula una curva que relaciona el diámetro del intercambiador geotérmico con los costes económicos.

Los costes económicos se calculan como la suma de los costes de inversión más los costes de explotación a un año vista, con el objetivo de realizar un diseño sensible a los costes de inversión y poder limitarlos. En caso de considerar tiempos mayores, los costes de explotación son muy superiores y se reduce la sensibilidad del diseño a los costes de inversión.

Los costes de inversión se calculan proporcionales a la longitud del intercambiador geotérmico y a la raíz cuadrada del diámetro, más un coste fijo. Los costes de explotación se calculan proporcionales a la potencia consumida por la bomba hidráulica y al tiempo considerado.

De la curva que relaciona el diámetro con los costes totales a un año vista, se deduce el rango de diámetros que minimiza los costes para los ciclos de calefacción y refrigeración.

Se elige un diámetro y un espesor que minimicen la resistencia térmica del tubo y que genere la turbulencia. Además, el diámetro y espesor elegidos deben resistir presión máxima para la limpieza y mantenimiento de los tubos, mediante el purgado a presión.

Finalmente, se eligen los pilotes activados térmicamente para compatibilizar la profundidad del pilote con la longitud del intercambiador, pues ésta depende de la resistencia térmica del terreno, la cual varía con la configuración geométrica en planta.

El proceso de dimensionamiento y las expresiones utilizadas se detalla en profundidad en el Anejo 8.

1.12 CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO DISEÑADO.

Las características finales para el intercambiador geotérmico minimizan el coste de explotación de la instalación, al reducir el caudal, al mínimo que no produce incrementos de temperaturas superiores a 4°C, y que por tanto, puedan provocar efectos térmicos indeseados. El caudal, junto con el diámetro de diseño, permite un flujo turbulento para facilitar el intercambio de calor.

El intercambiador geotérmico está compuesto por tubos de polietileno reticulado, de diámetros interior y exterior de 40.8 y 50 milímetros, con una longitud total de 250 metros, un caudal máximo de 3300 l/s, y una presión admisible de 16 Bares.

Se disponen 4 pilotes termoactivos en un encepado de pilotes del Grupo 4, 2 pilotes termoactivos en los encepados del Grupo 1, y otros 2 pilotes en dos de los encepados del Grupo 2.

1.13 VALORACIÓN ECONÓMICA.

En la memoria económica se analizan todas las unidades de obra necesarias, obtenidas a partir del generador de precios de CYPE. Las partidas económicas consideradas son las que se enumeran a continuación:

- Excavación de la capa de 60 cm de relleno antrópico.
- Ejecución de los pilotes CPI-6.
- Colocación y montaje de los pilotes termoactivos.
- Colocación de la tubería para distribución de aguas.
- Instalación del sistema geotérmico.
- Encepados.
- Encofrados.

El Presupuesto de Ejecución del Contrato (PEC) es de 274,746.37€, de los que, 17,519.3€ están destinados a la parte de la instalación geotérmica.

Los periodos de amortización, respecto al Presupuesto de Ejecución Material (PEM), pueden oscilar entre los 12 y 23 años, en relación a la energía aerotérmica, con un ahorro energético de entre el 20 y el 40%.

1.13 RESUMEN DEL DISEÑO REALIZADO.

La cimentación proyectada se apoya sobre un conjunto de arcillas blandas normalmente consolidadas, bajo el nivel freático, que suponen una dificultad para controlar los asentamientos de consolidación. El diseño finalmente realizado permite una correcta estabilidad geotécnica frente a hundimiento y respecto a los asentamientos, que garantiza su seguridad y durabilidad.

La solución se compone de 44 pilotes de 1 metro de diámetro, divididos en cuatro grupos, con longitudes diferentes, de entre 13.2 y 21.4 metros, en función de la carga que soportan.

Se diseñan 8 pilotes termoactivos, cuatro de ellos situados en un encepado central que recoge un grupo de cinco pilotes, y los otros cuatro, repartidos por cada esquina. Con los que se pretende cubrir una demanda energética de calefacción de 11.95 KW y una demanda de refrigeración de 11.08 KW, deducidas de las cargas térmicas del edificio.

Con todo ello se intenta mejorar la eficiencia de climatización de una vivienda de 200 metros cuadrados, con dos plantas acondicionadas y una tercera, sin acondicionar, en contacto con el ambiente exterior.

1.14 DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL PRESENTE ESTUDIO

El presente estudio consta de los siguientes documentos:

1. MEMORIA.
2. ANEJOS.
 - ANEJO 1: PLANTA DEL EDIFICIO Y CARACTERÍSTICAS.
 - ANEJO 2: INFORMACIÓN GEOTÉCNICA UTILIZADA.
 - ANEJO 3: ESTUDIO GEOTÉCNICO A REALIZAR.
 - ANEJO 4: ENERGÍA GEOTÉRMICA.
 - ANEJO 5: INFORMACIÓN GEOTÉRMICA UTILIZADA.
 - ANEJO 6: ESTUDIO GEOTÉRMICO A REALIZAR.
 - ANEJO 7: ESTUDIO DE LA TIPOLOGÍA DE LA CIMENTACIÓN Y SU INTEGRACIÓN CON LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.
 - ANEJO 8: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO.
 - ANEJO 9: DISEÑO BÁSICO DE LA CIMENTACIÓN.
 - ANEJO 10: CÁLCULOS GEOTÉCNICOS.
3. MEMORIA ECONÓMICA.
4. PLANOS.

1.15 CONCLUSIONES.

1.15.1 CONCLUSIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO.

Como conclusión final, interesa destacar que los resultados obtenidos, muestran un coste de ejecución de la cimentación por pilotes muy superior al de la instalación geotérmica, en el orden de 10 veces superior. Esto supone una ventaja para la instalación de bombas de calor geotérmicas, al ser compartidos los costes de perforación entre la cimentación y la instalación geotérmica, ya sea para los pilotes o para sondeos previos.

Al combinar ambos diseños, se consigue reducir las partidas que mayor inversión conllevan para la instalación geotérmica, incluyéndolas en los costes de la cimentación, convirtiendo así a la energía geotérmica de baja entalpía en un claro competidor de las bombas de calor tradicionales, con periodos de amortización respecto a la aerotermia, de entre 12 y 23 años, y un ahorro de entre el 21 y 40% (Véase el apartado 2 de la Memoria Económica).

Estas características hacen de la energía geotérmica de baja entalpía, un recurso renovable, limpio y de costes competitivos, respetuoso con el medio ambiente, que puede suponer un empuje importante para la transición energética hacia las energías renovables, en la lucha contra el cambio climático.

1.15.2 CONCLUSIONES PARTICULARES DEL AUTOR DEL ESTUDIO.

Personalmente, el estudio realizado me ha servido para ampliar mis conocimientos y mejorar mis habilidades de manejo de herramientas y de trabajo, mejorando mi formación académica y cultural.

El proceso de realización de este trabajo me ha servido para apreciar en mayor medida los conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios de grado, permitiéndome ver su utilidad y valor social. Pues con mi trabajo, me considero partícipe, aunque sea en una ínfima parte, de la transición energética hacia las energías renovables, ayudando a su implementación en la sociedad y mejorando la calidad de vida.

Finalmente, cabe destacar y agradecer la labor docente de los profesores y personal de la escuela, que con su labor, hacen posible la mejora y transformación constante de la sociedad, impartiendo sus conocimientos y experiencia desde los cimientos del conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- (CEDEX)., C. d. (2009). *Guía de cimentaciones en obras de carretera*. Madrid (España): Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras.
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). (2012). Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica. *Guía Técnica*. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Carballo, P. (Marzo de 2010). *Implementación informática para el cálculo de pilotes de hormigón “in situ” según el código técnico de la edificación. 2-Pilotes in situ, tipología*. Obtenido de Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4788/fichero/MEMORIA%252F02PILOTES+IN+SITU%2C+TIPOLOG%2C%8DA.pdf>
- Castilla Gómez, H. H. (2012). *Utilización de Técnicas de Sondeos en Estudios Geotécnicos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: http://oa.upm.es/10517/1/20120316_Utilizacion-tecnicas-sondeos-geotecnicos.pdf
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (Enero de 2008). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural/Cimientos*. Obtenido de Ministerio de Fomento. Gobierno de España: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-C.pdf>
- CYPE, Ingenieros S.A. (2019). *Generador de precios CYPE*. Obtenido de CYPE, Ingenieros S.A.: <http://www.generadordeprecios.info/>
- Eskilson, P. (1987). *Thermal analysis of heat extraction boreholes*. Lund (Sweden): University of Lund.
- Goy, J. G., Martínez, R. V., & Cardeña, C. Z. (1972). *MAGNA 50 – Hoja 696*. Obtenido de Instituto Geológico y Minero de España:

http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d6_G50/Magna50_696.pdf

Jimeno., L. (s.f.). *El subsuelo como fuente de energía. Instalaciones Geotérmicas*. Obtenido de http://aetess.com/wp-content/uploads/Carlos_Lopez_Jimeno_GEOTERMIA.pdf

NIBE. (s.f.). *Gama de producto NIBE. Bombas de calor geotérmicas*. Obtenido de NIBE web site: <https://www.tellusignis.com/sites/default/files/pictures/KBR%20ES%20NIBE%20Grounds%20Source%20639101-9%20LR.pdf>

Ortiz, R., Gesta, S., & Mazo, O. (1989). *Curso aplicado de cimentaciones*. Madrid (España): Colegio oficial de arquitectos de Madrid.

Sáez, S. (Junio de 2012). *Universidad de Chile*. Obtenido de Repositorio de la Universidad de Chile: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/1>

Serón, J., & Jordá, L. (s.f.). *Apuntes de cimentaciones directas o superficiales*. Valencia: Escuela de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Serón, J., & Martínez, V. (s.f.). *Apuntes de cimentaciones profundas*. Valencia: Escuela de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Solé, A. C. (2008). *Energía geotérmica de baja temperatura*. Cano Pina.

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [Wikipedia.org: https://es.wikipedia.org/wiki/Integral_exponencial](https://es.wikipedia.org/wiki/Integral_exponencial)

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de [Wikipedia.org: https://es.wikipedia.org/wiki/Sondeo_geot%C3%A9cnico](https://es.wikipedia.org/wiki/Sondeo_geot%C3%A9cnico)

YEPES, V. (2014). *Maquinaria para sondeos y perforaciones*. València: Apuntes de la Universidad Politécnica de València.