ÍNDICE

[RESUMEN 1](#_Toc449389956)

[ABSTRACT 3](#_Toc449389957)

[RESUM 5](#_Toc449389958)

[I INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 9](#_Toc449389959)

[I.1 INTRODUCCIÓN 9](#_Toc449389960)

[I.2 OBJETIVOS 11](#_Toc449389961)

[I.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS 12](#_Toc449389962)

[II CONCEPTOS BÁSICOS 17](#_Toc449389963)

[II.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE PILOTES 17](#_Toc449389964)

[II.1.1 Definición. Cargas de un pilote 17](#_Toc449389965)

[II.1.2 Tipos de pilotes 18](#_Toc449389966)

[II.1.3 Carga de hundimiento de un pilote aislado 21](#_Toc449389967)

[II.1.4 Cálculo de pilotes 32](#_Toc449389968)

[II.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE GEOTERMIA 41](#_Toc449389969)

[II.2.1 Origen del calor en el terreno 41](#_Toc449389970)

[II.2.2 Clasificación: Tipos de geotermia y tipos de yacimientos 42](#_Toc449389971)

[II.2.3 Tipos de aplicaciones 45](#_Toc449389972)

[II.2.4 Sistemas de intercambiadores de calor 46](#_Toc449389973)

[II.2.5 El hormigón como elemento intercambiador de calor. 50](#_Toc449389974)

[II.3 CONCEPTOS DE INSTRUMENTACIÓN 60](#_Toc449389975)

[II.3.1 Medidas de desplazamiento 60](#_Toc449389976)

[II.3.2 Medidas de deformaciones 63](#_Toc449389977)

[II.3.3 Medidas de Fuerza 65](#_Toc449389978)

[II.3.4 Medida de temperatura 68](#_Toc449389979)

[II.3.5 Equipo multiparamétrico YSI ProPlus 69](#_Toc449389980)

[II.3.6 Sensores de fibra óptica para medida de deformación y temperatura 70](#_Toc449389981)

[III ESTADO DEL CONOCIMIENTO 77](#_Toc449389982)

[III.1 ANTECEDENTES 77](#_Toc449389983)

[III.2 EXPERIENCIAS EN DIFERENTES PAÍSES 77](#_Toc449389984)

[III.2.1 Pilotes geotérmicos en Austria 77](#_Toc449389985)

[III.2.2 Pilotes geotérmicos en Suiza 81](#_Toc449389986)

[III.2.3 Pilotes geotérmicos en Inglaterra 86](#_Toc449389987)

[III.2.4 Pilotes geotérmicos en Estados Unidos 94](#_Toc449389988)

[III.3 SÍNTESIS DE CONOCIMIENTOS ACTUALES 100](#_Toc449389989)

[III.3.1 Deducciones experimentales 101](#_Toc449389990)

[III.3.2 Un modelo de comportamiento termo-mecánico de pilotes 103](#_Toc449389991)

[III.4 NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN 107](#_Toc449389992)

[IV PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 113](#_Toc449389993)

[IV.1 INTRODUCCIÓN 113](#_Toc449389994)

[IV.2 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO 114](#_Toc449389995)

[IV.2.1 Selección del emplazamiento 114](#_Toc449389996)

[IV.2.2 Marco geológico del emplazamiento seleccionado 114](#_Toc449389997)

[IV.2.3 Sondeo mecánico 116](#_Toc449389998)

[IV.2.4 Prueba de penetración dinámica superpesada 118](#_Toc449389999)

[IV.2.5 Ensayos de laboratorio 120](#_Toc449390000)

[IV.2.6 Datos geotécnicos de informes de localizaciones cercanas 130](#_Toc449390001)

[IV.3 DISEÑO DEL ENSAYO 132](#_Toc449390002)

[IV.3.1 Diseño del pilote 132](#_Toc449390003)

[IV.3.2 Diseño del ensayo: Solicitaciones térmicas 135](#_Toc449390004)

[IV.3.3 Diseño del ensayo: Solicitación mecánica 141](#_Toc449390005)

[IV.4 CONSTRUCCIÓN DEL PILOTE 145](#_Toc449390006)

[IV.5 INSTRUMENTACIÓN INTERNA DEL PILOTE 148](#_Toc449390007)

[IV.5.1 Extensómetros de cuerda vibrante 149](#_Toc449390008)

[IV.5.2 Galgas extensométricas 151](#_Toc449390009)

[IV.5.3 Sensores de fibra óptica 151](#_Toc449390010)

[IV.5.4 Colocación de los sensores en el interior del pilote 155](#_Toc449390011)

[IV.6 HINCADO DEL PILOTE 157](#_Toc449390012)

[IV.7 PRUEBA DE CARGA DINÁMICA 162](#_Toc449390013)

[IV.7.1 Método CASE 165](#_Toc449390014)

[IV.7.2 Análisis CAPWAP 169](#_Toc449390015)

[IV.8 ACTIVACIÓN TÉRMICA DEL PILOTE 172](#_Toc449390016)

[IV.8.1 Introducción de la sonda 172](#_Toc449390017)

[IV.8.2 Prueba de estanqueidad 173](#_Toc449390018)

[IV.8.3 Inyección del mortero de alta conductividad térmica 173](#_Toc449390019)

[IV.8.4 Prueba de presión final 175](#_Toc449390020)

[IV.9 MONTAJE DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA MECÁNICA 175](#_Toc449390021)

[IV.9.1 Elementos del sistema de aplicación de carga mecánica 176](#_Toc449390022)

[IV.9.2 Ejecución de los anclajes 177](#_Toc449390023)

[IV.9.3 Montaje del castillete 180](#_Toc449390024)

[IV.9.4 Tesado y comprobación de los anclajes 180](#_Toc449390025)

[IV.9.5 Instalación del bastidor de reacción 182](#_Toc449390026)

[IV.10 MONTAJE DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS 185](#_Toc449390027)

[IV.10.1 Instalación térmica 186](#_Toc449390028)

[IV.10.2 Sistema de conexionado con el pilote 187](#_Toc449390029)

[IV.11 INSTRUMENTACIÓN EXTERNA DEL PILOTE 187](#_Toc449390030)

[V COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PILOTE 192](#_Toc449390031)

[IV.1 TRANSFERENCIA DE CALOR Y PARÁMETROS TÉRMICOS 193](#_Toc449390032)

[IV.1.1 Mecanismos de transferencia de calor 193](#_Toc449390033)

[IV.1.2 Definición de los parámetros térmicos básicos 197](#_Toc449390034)

[IV.2 MODELADO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS 199](#_Toc449390035)

[IV.2.1 Planteamiento del modelo 200](#_Toc449390036)

[IV.2.2 El momento C0 204](#_Toc449390037)

[IV.2.3 El momento Ca 205](#_Toc449390038)

[IV.2.4 El momento Cb 206](#_Toc449390039)

[IV.2.5 El momento Cc 207](#_Toc449390040)

[IV.2.6 El momento Cd 208](#_Toc449390041)

[IV.2.7 El momento Ce 209](#_Toc449390042)

[IV.2.8 Influencia térmica del pilote en el terreno 210](#_Toc449390043)

[IV.3 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL SISTEMA PILOTE-TERRENO 212](#_Toc449390044)

[IV.3.1 Aproximación mediante el modelo de la fuente de calor lineal infinita 213](#_Toc449390045)

[IV.3.2 Aplicación del modelo numérico al ensayo de respuesta térmica del pilote 216](#_Toc449390046)

[IV.3.3 Determinación experimental 218](#_Toc449390047)

[V RESULTADOS 227](#_Toc449390048)

[V.1 INTRODUCCIÓN 227](#_Toc449390049)

[V.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS 228](#_Toc449390050)

[V.2.1 Datos brutos: Tipos de deformación en el pilote 228](#_Toc449390051)

[V.2.2 Criterio de signos convenido 230](#_Toc449390052)

[V.2.3 Nomenclatura de los ensayos y puntos de ensayo específicos 230](#_Toc449390053)

[V.3 PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA: ENSAYOS A Y B 231](#_Toc449390054)

[V.3.1 Primera prueba de carga estática. ENSAYO A 231](#_Toc449390055)

[V.3.2 Segunda prueba de carga estática. ENSAYO B 243](#_Toc449390056)

[V.4 ENSAYO DE RESPUESTA TÉRMICA DEL PILOTE: ENSAYO C 251](#_Toc449390057)

[V.4.1 TEMPERATURAS MEDIDAS EN EL INTERIOR DEL PILOTE 252](#_Toc449390058)

[V.4.2 MOVIMIENTOS MEDIDOS EN LA CABEZA DEL PILOTE 253](#_Toc449390059)

[V.4.3 DEFORMACIONES MEDIDAS EN EL INTERIOR DEL PILOTE 256](#_Toc449390060)

[V.4.4 TENSIONES EN EL INTERIOR DEL PILOTE 259](#_Toc449390061)

[V.4.5 CARGAS AXILES EN EL PILOTE 264](#_Toc449390062)

[V.5 PRUEBA DE SIMULACIÓN DE CARGAS DIARIAS: ENSAYO E 267](#_Toc449390063)

[V.5.1 Resultados del ciclo 2 269](#_Toc449390064)

[V.5.2 Resultados del ensayo E completo 282](#_Toc449390065)

[VI ANALISIS DE RESULTADOS 315](#_Toc449390066)

[VI.1 INTRODUCCION 315](#_Toc449390067)

[VI.2 PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA: ENSAYOS A Y B 316](#_Toc449390068)

[VI.2.1 Primera prueba de carga estática. Ensayo A 316](#_Toc449390069)

[VI.2.2 Segunda prueba de carga estática. Ensayo B 332](#_Toc449390070)

[VI.3 ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL PILOTE: Ensayo C 345](#_Toc449390071)

[VI.3.1 Temperaturas medidas en el interior del pilote 346](#_Toc449390072)

[VI.3.2 Movimientos medidos en la cabeza del pilote 350](#_Toc449390073)

[VI.3.3 Deformaciones medidas en el interior del pilote 351](#_Toc449390074)

[VI.3.4 Tensiones en el interior del pilote 354](#_Toc449390075)

[VI.3.5 Cargas axiles medidas en el interior del pilote 356](#_Toc449390076)

[VI.3.6 Carga en la punta del pilote 358](#_Toc449390077)

[VI.3.7 Tensión tangencial entre fuste y terreno 359](#_Toc449390078)

[VI.4 PRUEBA DE SIMULACIÓN DE CARGAS DIARIAS: ENSAYO E 370](#_Toc449390079)

[VI.4.1 ANALISIS DEL CICLO 2 370](#_Toc449390080)

[VI.4.2 ANALISIS DEL ENSAYO E COMPLETO 384](#_Toc449390081)

[VI.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA DEL PILOTE EN TODOS LOS ENSAYOS REALIZADOS 396](#_Toc449390082)

[VII CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 401](#_Toc449390083)

[VII.1 CONCLUSIONES 401](#_Toc449390084)

[VII.1.1 Sobre el comportamiento térmico del pilote: 404](#_Toc449390085)

[VII.1.2 Sobre el comportamiento mecánico del pilote experimental: 405](#_Toc449390086)

[VII.1.3 Sobre el comportamiento termo-mecánico del pilote: 406](#_Toc449390087)

[VII.2 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN 409](#_Toc449390088)

[VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 413](#_Toc449390089)

[ÍNDICE DE FIGURAS 419](#_Toc449390090)

[ÍNDICE DE TABLAS 427](#_Toc449390091)