

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Antecedentes | 4 |
| 2.1 Introducción general | 4 |
| 2.2 Túneles de recuperación y diseño tradicional | 4 |
| 2.3 Diseño de túneles de recuperación | 5 |
| 2.4 Perfil de presiones bajo una pila de acoplamiento | 5 |
| 2.5 Análisis sísmico de estructuras enterradas | 12 |
| 2.6 Diseño estructural de túneles con tubo de acero corrugado | 13 |
| 2.6.1 Estados límites de diseño | 13 |
| 2.6.2 Combinaciones de carga | 13 |
| 2.6.3 Factores de resistencia del material | 16 |
| 2.6.4 Proceso de diseño: Estructuras suelo-metal | 16 |
| 3. Objetivos | 26 |
| 3.1 Objetivo general | 26 |
| 3.2 Objetivos específicos | 26 |
| 4. Metodología de trabajo | 27 |
| 4.1 Estudio del comportamiento del terreno | 27 |
| 4.2 Desarrollo del modelo del túnel de recuperación | 27 |
| 4.3 Diseño de la propuesta | 29 |
| 4.4 Análisis comparativo con el diseño de hormigón armado | 29 |
| 5. Modelación de la estructura | 30 |
| 5.1 Introducción | 30 |
| 5.2 Bases de la modelación | 31 |
| 5.2.1 Sistema de unidades | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.2 | Descripción del túnel | 32 |
| 5.2.3 | Acero corrugado | 33 |
| 5.2.4 | Propiedades del terreno | 37 |
| 5.2.5 | Propiedades de la pila | 39 |
| 5.2.6 | Cargas solicitantes | 39 |
| 5.2.7 | Combinación de carga..... | 41 |
| 5.3 | Modelo en FLAC3D..... | 41 |
| 5.3.1 | Construcción del modelo | 41 |
| 5.3.2 | Procedimiento de análisis..... | 44 |
| 5.3.3 | Cargas solicitantes | 50 |
| 5.3.4 | Metodología de mediciones..... | 54 |
| 6. | Resultados..... | 57 |
| 6.1 | Esfuerzos del túnel sin bocas de alimentación..... | 57 |
| 6.2 | Cargas sísmicas..... | 65 |
| 6.3 | Esfuerzos del túnel con bocas de alimentación | 67 |
| 6.4 | Deformación admisible..... | 80 |
| 6.4.1 | Deformación vertical | 80 |
| 6.4.2 | Deformación horizontal..... | 87 |
| 7. | Diseño estructural..... | 95 |
| 7.1 | Introducción general..... | 95 |
| 7.2 | Parámetros de diseño | 96 |
| 7.2.1 | Altura de recubrimiento de suelo | 96 |
| 7.2.2 | Resistencia del tubo a compresión | 96 |
| 7.2.3 | Resistencia del tubo durante la construcción | 96 |
| 7.2.4 | Resistencia del tubo para corrugaciones profundas | 96 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2.5 | Resistencia de las conexiones | 97 |
| 7.2.6 | Radio de curvatura | 97 |
| 7.3 | Diseño estructural túnel sin bocas de alimentación | 98 |
| 7.3.1 | Altura de recubrimiento de suelo | 98 |
| 7.3.2 | Resistencia del tubo a compresión | 99 |
| 7.3.3 | Resistencia del tubo durante la construcción | 102 |
| 7.3.4 | Resistencia del tubo para corrugaciones profundas | 106 |
| 7.3.5 | Resistencia de las conexiones | 111 |
| 7.3.6 | Radio de curvatura | 112 |
| 7.4 | Análisis sísmico..... | 113 |
| 7.4.1 | Resistencia del tubo a compresión..... | 113 |
| 7.4.2 | Resistencia del tubo para corrugaciones profundas..... | 117 |
| 7.4.3 | Resistencia de las conexiones | 122 |
| 7.5 | Refuerzo túnel con bocas de alimentación..... | 123 |
| 7.6 | Análisis de costos..... | 124 |
| 8. | Comentarios y conclusiones | 131 |
| 8.1 | Estudio de las cargas estáticas y dinámicas | 131 |
| 8.2 | Comparación de resultados con diseño de hormigón armado | 132 |
| 8.3 | Análisis de la propuesta | 132 |
| 8.4 | Consideraciones a tener en cuenta..... | 136 |
| | Bibliografía | 137 |
| | Anexo A. Cálculo momento plástico M_P | 139 |
| | A1. Cálculo de momento plástico M_P tubo de acero corrugado 152x51 mm de 7 mm de espesor | 139 |
| | A2. Cálculo de momento plástico M_P tubo de acero corrugado 381x140 mm de 8 mm de espesor | 140 |

| | |
|---|-----|
| Anexo B. Equipo de compactación..... | 141 |
| Anexo C. Resultados modelo FLAC3D | 142 |
| C1. Diagramas de máximos esfuerzos | 142 |
| C2. Diagramas de esfuerzos durante la construcción del túnel. Dirección transversal | 146 |
| Anexo D. Código modelo FLAC3D | 152 |
| D1. Modelo completo túnel de recuperación..... | 152 |
| D2. Colocación y compactación capas de relleno estructural 1 a 5 | 155 |
| D3. Colocación y compactación capas de relleno estructural 6 a 10 | 158 |
| D4. Colocación y compactación capas de relleno estructural 11 a 15 | 160 |
| D5. Colocación y compactación capas de relleno estructural 16 a 20 | 162 |
| D6. Colocación y compactación capas de relleno estructural 21 a 27 (Altura mínima de recubrimiento) | 165 |
| D7. Inclusión pila de acopio | 167 |
| D8. Inclusión bocas de alimentación..... | 167 |