

*Vista previa del prólogo e índice del Libro*  
*"Fundamentos del Diseño de Túneles - Volumen 1: Caracterización del Terreno y Cálculo Estructural"*  
*Autores: Benjamín Celada Tamames y Z. T. Bieniawski von Preinl*

# **FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE TÚNELES**

## **VOLUMEN 1: Caracterización del Terreno y Cálculo Estructural**

**BENJAMÍN CELADA TAMAMES**  
**Z. T. BIENIAWSKI VON PREINL**

*Vista previa del prólogo e índice del Libro*  
*"Fundamentos del Diseño de Túneles - Volumen 1: Caracterización del Terreno y Cálculo Estructural"*  
*Autores: Benjamín Celada Tamames y Z. T. Bieniawski von Preinl*

**Título Original:** Fundamentos del Diseño de Túneles. Volumen 1: Caracterización del Terreno y Cálculo Estructural

**Autores:** Benjamín Celada Tamames y Z. T. Bieniawski von Preinl

**Editores:** Laura Celada y Álvaro García

**Equipo Técnico:** Raquel García

**Maquetación:** elotroplano.com

**Impresión:** Gráficas AGA

**Editorial:** AGA Ediciones

**Coordinación editorial:** GEOCONTROL, S.A.

Impreso en España

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso de los autores del mismo.

La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

**Copyright** © Benjamín Celada Tamames y Z. T. Bieniawski von Preinl

Reservados todos los derechos de los autores

**Depósito Legal:** M-34208-2016

I.S.B.N.

1ª Edición: Octubre 2016

*Vista previa del prólogo e índice del Libro*  
*"Fundamentos del Diseño de Túneles - Volumen 1: Caracterización del Terreno y Cálculo Estructural"*  
*Autores: Benjamín Celada Tamames y Z. T. Bieniawski von Preinl*

# ÍNDICE

---

1. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y ALGUNAS CUESTIONES BÁSICAS
2. DISEÑO DE TÚNELES
3. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO
4. ESTADO NATURAL DE TENSIONES
5. ENSAYOS DE LABORATORIO
6. CLASIFICACIÓN DEL TERRENO
7. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES
8. MODELOS CONSTITUTIVOS DEL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO
9. ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO
10. ANÁLISIS TENSO-DEFORMACIONAL

# PRÓLOGO

---

Este libro es el resultado de una estrecha y eficaz colaboración entre ambos, que se inició en el año 1997 en Viena con ocasión del Congreso de la *International Tunnelling Association* y que se ha concretado a lo largo de casi 20 años en los siguientes logros:

- Evolución del sistema *Rock Mass Rating* (RMR).
- Puesta a punto del método de Diseño Estructural Activo (DEA).
- Creación de las herramientas de diseño *Rock Mass Excavability* (RME) e Índice de Comportamiento Elástico (ICE) y de las plataformas informáticas para el control de tuneladoras ae-MAT TBM y ae-MAT EPB.

Este Volumen I está orientado a desarrollar las actividades de Caracterización del Terreno y del Cálculo Estructural, dos de los tres puntos de apoyo del DEA. Está previsto que el Volumen II se dedique a la Ingeniería durante la Construcción, tercer punto de apoyo del DEA, y a presentar algunos aspectos complementarios del Diseño de Obras Subterráneas.

Los Fundamentos del Diseño de Túneles presentados en este libro, también son el resultado de las importantes experiencias adquiridas en el Diseño y Control de la Construcción de una buena parte de las numerosas Obras Subterráneas que se han construido en España, entre los años 1995 y 2012, y más recientemente en la construcción de relevantes líneas de metro en Santiago de Chile, Sao Paulo y Lima, que han aportado a este libro un carácter eminentemente práctico.

Finalmente, deseamos expresar nuestro agradecimiento a las personas que han intervenido en la redacción y edición de este libro, cuya colaboración ha resultado esencial para hacer posible que este libro contribuya a fomentar el progreso en el conocimiento sobre el Diseño de Túneles.

Benjamín Celada Tamames

Z.T. Bieniawski von Preinl

# ÍNDICE

---

|  |    |
|--|----|
| <b>1. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y ALGUNAS CUESTIONES BÁSICAS</b> ..... | 13 |
| 1.1. Introducción.....   | 15 |
| 1.2. Tipología de las Obras Subterráneas.....                                    | 15 |
| 1.3. Algunos aspectos básicos relacionados con el Diseño de Túneles.....         | 22 |
| 1.4. Bibliografía.....   | 31 |
| <b>2. DISEÑO DE TÚNELES</b> .....  | 33 |
| 2.1. Introducción.....   | 35 |
| 2.2. Métodos de diseño.....  | 35 |
| 2.3. El diseño en la Ingeniería de Túneles.....                                  | 36 |
| 2.4. Métodos de Diseño de Túneles.....   | 38 |
| 2.5. Bibliografía.....   | 51 |
| <b>3. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO</b> .....                                       | 53 |
| 3.1. Introducción.....   | 55 |
| 3.2. Diseño y planificación de los reconocimientos.....                          | 55 |
| 3.3. Estudios preliminares.....  | 55 |
| 3.4. Prospección geofísica.....  | 61 |
| 3.5. Sondeos de reconocimiento.....  | 66 |
| 3.6. Calicatas mecánicas.....  | 76 |
| 3.7. Ensayos in situ.....  | 76 |
| 3.8. Caracterización del agua.....   | 88 |
| 3.9. Intensidad de la campaña de reconocimientos.....                            | 88 |
| 3.10. Bibliografía.....  | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>4. ESTADO NATURAL DE TENSIONES</b>  | 95  |
| 4.1. Introducción  | 97  |
| 4.2. Componentes del estado natural de tensiones en el terreno                 | 97  |
| 4.3. Factores que modifican el estado tensional natural                        | 98  |
| 4.4. Medida del estado tensional natural                                       | 101 |
| 4.5. Estimación del estado natural de tensiones                                | 104 |
| 4.6. Bibliografía  | 106 |
| <b>5. ENSAYOS DE LABORATORIO</b>   | 107 |
| 5.1. Introducción  | 109 |
| 5.2. Ensayo a compresión simple  | 109 |
| 5.3. Ensayo a compresión triaxial  | 114 |
| 5.4. Ensayos a tracción  | 116 |
| 5.5. Ensayos de resistencia al corte   | 117 |
| 5.6. Ensayos relacionados con la excavabilidad                                 | 119 |
| 5.7. Ensayos no convencionales   | 122 |
| 5.8. Bibliografía  | 125 |
| <b>6. CLASIFICACIÓN DEL TERRENO</b>  | 127 |
| 6.1. Introducción  | 129 |
| 6.2. Clasificaciones geomecánicas  | 129 |
| 6.3. Estimación de los parámetros tenso-deformacionales de los macizos rocosos | 140 |
| 6.4. Excavabilidad de los terrenos utilizando tuneladoras                      | 142 |
| 6.5. Perfil geomecánico  | 147 |
| 6.6. Bibliografía  | 148 |
| <b>7. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES</b>                                     | 151 |
| 7.1. Introducción  | 153 |
| 7.2. Métodos de construcción en subterráneo con mecanización parcial           | 153 |
| 7.3. Métodos de construcción en subterráneo con mecanización total             | 171 |
| 7.4. Métodos de construcción a cielo abierto                                   | 200 |
| 7.5. Bibliografía  | 202 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>8. MODELOS CONSTITUTIVOS DEL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO</b> .....    | 205 |
| 8.1. Introducción.....  | 207 |
| 8.2. Objetivo básico de un modelo constitutivo.....                     | 207 |
| 8.3. Elección de un modelo constitutivo.....                            | 207 |
| 8.4. Tipos básicos de modelos constitutivos.....                        | 209 |
| 8.5. Modelos constitutivos para la roca intacta y el macizo rocoso..... | 211 |
| 8.6. Modelos constitutivos más utilizados.....                          | 211 |
| 8.7. Modelos dependientes del tiempo.....                               | 224 |
| 8.8. Bibliografía.....  | 226 |
| <b>9. ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO</b> .....                              | 227 |
| 9.1. Introducción.....  | 229 |
| 9.2. Cerchas metálicas.....   | 229 |
| 9.3. Bulones.....   | 233 |
| 9.4. Hormigón proyectado.....   | 241 |
| 9.5. Micropilotes.....  | 250 |
| 9.6. Elemento compresibles.....   | 252 |
| 9.7. Anillos de dovelas de hormigón armado.....                         | 255 |
| 9.8. Importancia de los distintos sostenimientos.....                   | 267 |
| 9.9. Bibliografía.....  | 268 |
| <b>10. ANÁLISIS TENSO-DEFORMACIONAL</b> .....                           | 271 |
| 10.1. Introducción.....   | 273 |
| 10.2. Concepto del análisis Tenso-Deformacional.....                    | 273 |
| 10.3. Exigencias básicas del análisis Tenso-Deformacional.....          | 277 |
| 10.4. Proceso de modelización Tenso-Deformacional.....                  | 279 |
| 10.5. Cálculos especiales.....  | 296 |
| 10.6. Bibliografía.....   | 303 |