



CURSO/GUÍA PRÁCTICA INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	23
Introducción.	24
PARTE PRIMERA.	26
Fundamentos de la ingeniería geotécnica aplicada a obras lineales y urbanas	26
Capítulo 1: Rol y alcance de la ingeniería geotécnica en obras lineales y urbanas	26
1. Geotecnia como base oculta de carreteras, ferrocarriles y ciudad.....	26
a. Definición de obras lineales y urbanas desde la óptica geotécnica	26
b. Objetivos de seguridad, servicio y durabilidad de las infraestructuras	27
c. Importancia de la investigación del terreno, la mejora geotécnica y el control de riesgos	28
2. Diferencias entre geotecnia para infraestructuras y geotecnia minera	29
a. Tipos de obras, escalas y condicionantes de diseño	29
b. Riesgos frente a usuarios y terceros en ciudad y corredores de transporte	30
c. Razones para separar esta guía práctica de la ingeniería geotécnica minera	30
3. Condicionantes del entorno urbano y de los corredores lineales	31
a. Densidad edificatoria, servidumbres y afecciones a terceros	31
b. Trazados largos, accesos complicados y condicionantes topográficos	32
c. Restricciones ambientales, sociales y administrativas en España y Latinoamérica.....	32
4. El ciclo de vida geotécnico de una obra lineal o urbana	33
a. Fases de concepción, diseño, construcción y explotación	33
b. Papel de la investigación del terreno en cada fase	34
c. Mejora del terreno y control de riesgos a lo largo de la vida útil	35
5. Agentes implicados en la ingeniería geotécnica aplicada	35
a. Promotor, proyectista, especialista geotécnico y contratista	35
b. Concesionarias, operadores urbanos y empresas de conservación.....	36
c. Coordinación técnica, documental y contractual entre agentes.....	37
6. España y Latinoamérica: marcos habituales de proyecto y contratación	38
a. Tipologías de proyectos de carreteras, ferrocarriles y metros.....	38
b. Particularidades urbanas y administrativas en distintos países.....	39
c. Estándares técnicos y oportunidades de convergencia internacional.....	39
Capítulo 2: Modelo geológico-geotécnico en obras lineales y urbanas	41
1. El modelo geológico-geotécnico como eje de la ingeniería geotécnica	41
a. Diferencia entre modelo geológico y modelo geotécnico.....	41
b. Contenido mínimo del modelo para obras lineales y urbanas	42
c. Niveles de actualización del modelo a lo largo del proyecto.....	43
2. Fuentes de información para construir el modelo del terreno	44
a. Cartografía geológica, geotécnica e hidrogeológica.....	44
b. Historial de obras cercanas y patología previa en infraestructuras	44
c. Resultados de campañas de investigación del terreno	45
3. Representación gráfica del modelo en obras lineales	46
a. Perfiles geotécnicos de trazado y secciones tipo	46

b. Planos de zonificación y mapas de unidades geotécnicas	46
c. Modelos 3D en corredores de carreteras y ferrocarriles.....	47
4. Representación gráfica del modelo en entornos urbanos	48
a. Secciones urbanas con edificios, servicios y subterráneos.....	48
b. Mapas de espesores de rellenos y niveles freáticos	48
c. Integración con planificación urbana y servidumbres subterráneas	49
5. Integración del modelo geotécnico con BIM y GIS	50
a. Estructura de datos geotécnicos en entornos BIM	50
b. Uso de sistemas GIS para grandes corredores lineales	50
c. Beneficios en la gestión del riesgo y en la explotación de la infraestructura	51
6. Documentación y trazabilidad del modelo geológico-geotécnico	52
a. Informes geotécnicos para obras lineales y urbanas	52
b. Geotechnical Baseline Report (GBR) y condiciones del terreno	52
c. Archivo, custodia y actualización del modelo en explotación	53
PARTE SEGUNDA.....	54
Investigación del terreno en obras lineales (carreteras, ferrocarriles y redes)	54
Capítulo 3: Planificación de campañas geotécnicas en trazados lineales	54
1. Criterios generales para diseñar la investigación del terreno	54
a. Objetivos de la campaña según fase del proyecto	54
b. Nivel de reconocimiento en función del riesgo y la complejidad.....	55
c. Equilibrio entre coste de investigación y reducción de incertidumbre	56
2. Estrategias de muestreo a lo largo del corredor	57
a. Identificación de tramos geotécnicamente homogéneos	57
b. Frecuencia y profundidad de sondeos para plataforma y estructuras.....	58
c. Refino de campañas en zonas críticas y singulares	59
3. Técnicas de reconocimiento geotécnico en obras lineales	60
a. Sondeos a rotación, testigos y ensayos de laboratorio asociados	60
b. Penetrómetros (SPT, CPT, DPL, DPM) y presiómetro	61
c. Calicatas, zanjas de exploración y otros reconocimientos	62
4. Geofísica aplicada a corredores de transporte y redes.....	62
a. Métodos sísmicos, eléctricos y radar de penetración (GPR)	62
b. Ventajas e incertidumbres en suelos y rocas	63
c. Complementariedad entre geofísica y sondeos puntuales	64
5. Logística, seguridad y permisos en campañas lineales	65
a. Accesos, ocupaciones temporales y expropiaciones.....	65
b. Condicionantes de tráfico y coordinación con autoridades.....	65
c. Seguridad laboral, señalización y protección de servicios existentes.....	66
6. Ajuste de la campaña en función de los resultados	67
a. Revisión de hipótesis geotécnicas durante la campaña	67
b. Decisión de ampliar, reducir o reubicar sondeos y ensayos	67
c. Redacción de informes intermedios y finales de campaña	68
Capítulo 4: Caracterización geotécnica de plataformas, terraplenes y estructuras lineales 69	
1. Caracterización de la subrasante y su impacto en el diseño	69
a. Parámetros resistentes y deformacionales relevantes	69

b. Suelos blandos, colapsables y expansivos bajo plataformas.....	70
c. Clasificación geotécnica de la subrasante y categorías de terreno	72
2. Terraplenes y rellenos estructurales en obras lineales.....	73
a. Materiales admisibles y especificaciones de calidad.....	73
b. Compactación, control y módulos de deformación	74
c. Problemas típicos de asentos y estabilidad global	75
3. Desmontes y taludes en suelos y roca en corredores.....	76
a. Identificación de materiales críticos para la estabilidad de taludes.....	76
b. Caracterización de discontinuidades en macizos rocosos.....	77
c. Criterios para categorizar taludes según nivel de riesgo	78
4. Cimentaciones de estructuras lineales	79
a. Parámetros geotécnicos para zapatas, pilotes y encepados	79
b. Reconocimiento específico en estribos y pilas de puentes	80
c. Riesgos de socavación, erosión y pérdida de apoyo.....	80
5. Correlaciones empíricas y selección de parámetros de cálculo.....	81
a. Uso de SPT, CPT, presiómetro y otros ensayos in situ	81
b. Factores de seguridad y coeficientes parciales en estados límite.....	82
c. Diferencias entre parámetros de ensayo, de laboratorio y de proyecto.....	83
6. Fichas geotécnicas de tramo y secciones tipo	84
a. Contenido mínimo de la ficha geotécnica de tramo	84
b. Asociación con soluciones tipo de mejora del terreno	85
c. Uso de las fichas en proyecto, obra y conservación	86
PARTE TERCERA.	87
Investigación del terreno en entornos urbanos y túneles	87
Capítulo 5: Investigación geotécnica para excavaciones urbanas, sótanos y aparcamientos	87
1. Restricciones propias de la investigación geotécnica en ciudad	87
a. Limitaciones de espacio, accesibilidad y tráfico	87
b. Condicionantes de ruido, horarios y convivencia con vecinos	88
c. Requisitos de permisos y coordinación con administración local	89
2. Implantación de sondeos y técnicas poco invasivas.....	90
a. Sondeos verticales, inclinados y de pequeño diámetro	90
b. Equipos compactos, métodos manuales y trabajos nocturnos.....	91
c. Geofísica urbana y métodos indirectos complementarios	92
3. Interacción con servicios urbanos existentes.....	93
a. Localización previa de redes de agua, gas y electricidad	93
b. Gestión de interferencias con telecomunicaciones y otros servicios	94
c. Riesgos de daños en servicios durante la campaña geotécnica	94
4. Caracterización de rellenos, escombros y suelos antrópicos	95
a. Identificación de rellenos heterogéneos y potencialmente problemáticos	95
b. Suelos contaminados y condicionantes para el diseño geotécnico	96
c. Influencia en estabilidad, deformabilidad y drenaje de excavaciones	97
5. Niveles freáticos y presiones de agua en entornos urbanos	98
a. Identificación de acuíferos, niveles colgados y artesianismo	98
b. Ensayos de permeabilidad y pruebas de bombeo en ciudad	99
c. Efectos de las variaciones del nivel freático sobre las estructuras	100

6. Informe geotécnico urbano orientado a excavaciones.....	101
a. Estructura del informe para sótanos y aparcamientos subterráneos	101
b. Recomendaciones para pantallas, apuntalamientos y drenajes	102
c. Matriz de riesgos geotécnicos específicos de la excavación urbana	103

Capítulo 6: Investigación geotécnica para túneles urbanos y galerías de servicios.....104

1. Reconocimiento inicial del corredor de túnel urbano	104
a. Selección del eje de estudio y secciones de control.....	104
b. Recopilación de información geológica, geotécnica y constructiva existente	105
c. Identificación de edificaciones, servicios y estructuras sensibles	106
2. Campañas de sondeos y ensayos para túneles superficiales y profundos	107
a. Profundidad y separación entre sondeos en túneles en suelo	107
b. Reconocimiento de roca alterada y contactos suelo-roca	108
c. Ensayos in situ específicos para túneles (presiómetro, dilatómetro, etc.)	109
3. Investigación para pozos de ataque, ventilación y estaciones	110
a. Sondeos específicos en emplazamientos de pozos y cavernas	110
b. Caracterización de interfaces con cimentaciones existentes.....	110
c. Investigación para accesos, galerías auxiliares y salidas de emergencia.....	111
4. Análisis de edificaciones y cimentaciones colindantes	112
a. Levantamiento estructural y geotécnico de edificios próximos	112
b. Evaluación de vulnerabilidad frente a asentos y deformaciones	113
c. Necesidades de instrumentación previa y durante la obra	114
5. Reconocimiento complementario en fase de construcción	115
a. Avances geotécnicos desde la frente de excavación	115
b. Pruebas en tiempo real para ajustar parámetros de diseño	115
c. Registro y análisis de incidencias geotécnicas durante la excavación	116
6. Informe geotécnico específico para túneles urbanos	117
a. Contenido mínimo orientado al control de riesgos geotécnicos.....	117
b. Recomendaciones de mejora del terreno (jet, inyecciones, drenajes)	118
c. Escenarios de comportamiento y límites de deformación admisibles	118

PARTE CUARTA.120

Modelización y diseño geotécnico de obras lineales y urbanas.....120

Capítulo 7: Modelización geotécnica de plataformas, taludes y estructuras lineales120

1. Selección del modelo de cálculo para obras lineales.....	120
a. Métodos de equilibrio límite y estados límite últimos	120
b. Modelos de deformación 2D y 3D para asentos de plataforma.....	121
c. Criterios para elegir el nivel de sofisticación del modelo	122
2. Modelización de plataformas de carreteras y ferrocarriles	123
a. Representación de capas de firme, subrasante y rellenos	123
b. Cálculo de asentos totales y diferenciales.....	124
c. Secciones reforzadas y soluciones de mejora del terreno asociadas	125
3. Cálculo de taludes en suelos y roca.....	126
a. Modelos de estabilidad en suelos homogéneos y estratificados	126
b. Modelización de taludes rocosos y sistemas de discontinuidades	126
c. Análisis probabilístico de estabilidad en taludes críticos.....	127

4. Cimentaciones superficiales y profundas en obras lineales	128
a. Verificación de capacidad portante y asientos	128
b. Interacción suelo–estructura en estribos, pilas y marcos	129
c. Modelos simplificados para diseño preliminar y optimización	130
5. Introducción de drenajes y presiones intersticiales en el modelo.....	130
a. Representación del nivel freático y gradientes hidráulicos	130
b. Efecto de drenajes longitudinales y transversales	131
c. Influencia en estabilidad, asientos y licuación potencial.....	132
6. Calibración y contraste del modelo con la realidad.....	132
a. Comparación con datos históricos de proyectos similares	132
b. Retroanálisis a partir de instrumentación y auscultación	133
c. Ajustes de parámetros para mejorar la fiabilidad del modelo	134
Capítulo 8: Modelización geotécnica de excavaciones y contenciones urbanas	135
1. Esquemas de cálculo para excavaciones en ciudad	135
a. Modelos de muro aislado y recintos apuntalados.....	135
b. Cálculo de excavaciones top-down por fases constructivas	136
c. Simplificaciones habituales y límites de validez	137
2. Representación de edificios y estructuras colindantes.....	138
a. Modelos de elementos equivalentes para cimentaciones vecinas	138
b. Cálculo de deformaciones admisibles según tipología estructural	139
c. Escenarios de daño estructural y funcional	140
3. Modelización de pantallas, pilotes y micropilotes	141
a. Elementos de contorno y condiciones de apoyo.....	141
b. Interacción entre elementos de contención y terreno	142
c. Recintos mixtos: combinación de sistemas estructurales	143
4. Efectos del agua y drenajes en excavaciones.....	144
a. Modelos de flujo acoplados con deformación	144
b. Rebajamientos del nivel freático y gradientes ascendentes	144
c. Riesgos de sifonamiento, levantamiento de fondo y filtraciones.....	145
5. Análisis de estabilidad global excavación–entorno urbano	146
a. Mecanismos de deslizamiento profundo y vuelco de recintos	146
b. Influencia del relieve, edificaciones y cargas cercanas	147
c. Verificaciones complementarias de seguridad global	147
6. Métodos simplificados frente a métodos numéricos avanzados	148
a. Cuándo es suficiente un modelo simplificado	148
b. Cuándo es imprescindible un modelo numérico detallado.....	149
c. Recomendaciones prácticas para proyectos internacionales.....	149
PARTE QUINTA.	151
Mejora del terreno en obras lineales (columnas, drenes, precarga).....	151
Capítulo 9: Técnicas de mejora del terreno para plataformas lineales.....	151
1. Precarga y drenes verticales en suelos blandos	151
a. Principios de consolidación acelerada	151
b. Diseño de precargas y sobrecargas temporales	152
c. Fases de ejecución y control de asientos.....	153

2. Columnas granulares y columnas de grava	154
a. Mecanismos de mejora de resistencia y deformabilidad	154
b. Criterios de diseño en terraplenes y estribos	155
c. Ensayos de verificación y control de calidad	156
3. Inclusiones rígidas y mezclas suelo-cemento	156
a. Campos de aplicación frente a otras técnicas	156
b. Diseño de mallas, diámetros y profundidades	157
c. Compatibilidad con estructuras superficiales y profundas	158
4. Compactación dinámica, vibrocompactación y técnicas afines.....	159
a. Mejora de suelos granulares en plataformas y explanadas	159
b. Limitaciones en suelos finos y rellenos heterogéneos	159
c. Control de vibraciones y efectos sobre estructuras vecinas.....	160
5. Selección de la técnica de mejora del terreno	161
a. Criterios geotécnicos, económicos y de plazo	161
b. Comparación de soluciones mediante matrices de decisión	161
c. Análisis de riesgos y robustez de la solución elegida.....	162
6. Integración de la mejora del terreno en el diseño global	163
a. Interacción con drenajes, firmes y obras de fábrica.....	163
b. Repercusión en mantenimiento y comportamiento a largo plazo.....	163
c. Documentación de diseño, control y seguimiento	164
Capítulo 10: Estabilización de taludes y terraplenes en obras lineales	165
1. Medidas geométricas de estabilización	165
a. Reperfilado, bermas y plataformas intermedias	165
b. Reducción de alturas y pendientes críticas	166
c. Ajuste del trazado frente a condicionantes geotécnicos.....	167
2. Refuerzo de taludes con geosintéticos y suelo reforzado	168
a. Tipos de geosintéticos y mecanismos de refuerzo	168
b. Muros y taludes de suelo reforzado en corredores lineales	169
c. Control de calidad y comportamiento a largo plazo.....	169
3. Claveteado, bulonado y anclajes en taludes	170
a. Aplicación en suelos, rocas y taludes mixtos	170
b. Criterios de separación, longitud y capacidad.....	171
c. Integración con sistemas de protección superficial.....	172
4. Medidas de drenaje y alivio de presiones	173
a. Drenes horizontales y subdrenes profundos	173
b. Cunetas, zanjas drenantes y gestión de escorrentías	174
c. Relación entre drenaje y estabilidad de taludes y terraplenes	174
5. Sistemas de protección frente a desprendimientos	175
a. Mallas, redes y gunitados de protección	175
b. Barreras dinámicas y galerías de protección	176
c. Selección según nivel de riesgo, coste y mantenimiento	177
6. Programas de inspección, mantenimiento y auscultación.....	177
a. Inspecciones periódicas y fichas de evaluación.....	177
b. Monitorización de movimientos y umbrales de alarma	178
c. Priorización de actuaciones en redes de transporte	179

PARTE SEXTA.180

Mejora del terreno en entornos urbanos (jet, inyecciones, micropilotes)180

Capítulo 11: Jet grouting, inyecciones y control de agua en obras urbanas.....180

1. Principios del jet grouting en suelos urbanos180

- a. Tipos de chorro (simple, doble, triple) y columnas resultantes 180
- b. Aplicaciones tapones de fondo, bulbos de mejora y pantallas 181
- c. Limitaciones en suelos granulares y cementados..... 182

2. Diseño y ejecución de columnas de jet grouting183

- a. Geometría de columnas y rejillas de tratamiento 183
- b. Parámetros de inyección y control durante la obra 184
- c. Ensayos de verificación y testigos de control 185

3. Inyecciones de consolidación e impermeabilización185

- a. Tipos de lechadas y familias de inyecciones..... 185
- b. Diseño de cortinas de estanqueidad y consolidación 186
- c. Riesgos de levantamientos y migraciones no deseadas 187

4. Pozos de bombeo, wellpoints y rebajamiento de nivel freático188

- a. Criterios para elegir sistemas de bombeo en ciudad 188
- b. Diseño de redes de pozos, filtros y colectores 189
- c. Control de caudales, abatimientos y posibles asentos 189

5. Combinación de técnicas de mejora y control de agua190

- a. Estrategias mixtas bombeo, jet grouting e inyecciones 190
- b. Minimización de impactos en edificios y servicios urbanos..... 191
- c. Gestión de la transición entre fases y cambios de solución 191

6. Impactos ambientales y gestión de vertidos192

- a. Control de lodos, aguas de bombeo y residuos de inyección 192
- b. Condicionantes normativos en España y Latinoamérica..... 193
- c. Buenas prácticas para minimizar impactos ambientales..... 194

Capítulo 12: Micropilotes, anclajes y soluciones mixtas en excavaciones urbanas195

1. Micropilotes como cimentación y refuerzo del terreno195

- a. Tipologías de micropilotes y modos de trabajo..... 195
- b. Aplicaciones en recalces, contenciones y refuerzos locales..... 196
- c. Compatibilidad con estructuras nuevas y existentes 197

2. Anclajes activos y pasivos en pantallas y muros198

- a. Componentes y funcionamiento de un anclaje..... 198
- b. Criterios de diseño, pruebas de carga y aceptación..... 199
- c. Durabilidad, protección frente a corrosión y mantenimiento 200

3. Soluciones combinadas de contención y recalce201

- a. Recintos con pantallas y micropilotes interiores..... 201
- b. Recalce de medianeras y edificios contiguos 201
- c. Estrategias para minimizar deformaciones en superficie 202

4. Integración de las soluciones de mejora con el método constructivo203

- a. Sistemas top-down condicionados por la geotecnia 203
- b. Interacción con losas intermedias y cimentaciones definitivas 204
- c. Ajustes de diseño durante la obra según respuesta observada 204



5. Control de deformaciones y respuesta estructural	205
a. Parámetros a controlar en edificios y servicios	205
b. Umbrales de actuación y medidas correctoras	206
c. Comunicación con la propiedad y las autoridades en caso de incidencia	206
6. Casos tipo de soluciones urbanas con micropilotes y anclajes.....	207
a. Excavaciones profundas en parcelas reducidas	207
b. Recalce de edificios históricos y singulares	208
c. Obras próximas a infraestructuras existentes metro y colectores	208
PARTE SÉPTIMA.	210
Hidrogeología, drenaje y control de presiones intersticiales.....	210
Capítulo 13: Hidrogeología aplicada a obras lineales y urbanas.....	210
1. Conceptos básicos de hidrogeología para geotécnicos.....	210
a. Acuíferos libres, cautivos y colgados	210
b. Permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento	211
c. Relación entre agua subterránea y estabilidad geotécnica	212
2. Identificación de condiciones hidrogeológicas en el proyecto	213
a. Métodos de reconocimiento del nivel freático	213
b. Ensayos de permeabilidad y de bombeo en obra	214
c. Identificación de artesianismo y sobrepresiones	214
3. Influencia de las obras lineales en el régimen de aguas	215
a. Efecto de terraplenes, desmontes y drenajes longitudinales	215
b. Desvíos de escorrentías superficiales y subterráneas	216
c. Riesgos de erosión interna, piping y socavación	217
4. Influencia de las excavaciones urbanas en el agua subterránea	217
a. Barreras hidráulicas generadas por pantallas y muros.....	217
b. Efectos de rebajamientos del nivel freático en el entorno	218
c. Impacto en edificaciones vecinas y en el arbolado urbano	219
5. Modelos simplificados de flujo subterráneo	219
a. Esquemas bidimensionales para diseño de drenajes	219
b. Estimaciones de caudales de bombeo y abatimientos	220
c. Cuándo recurrir a modelos numéricos avanzados	221
6. Criterios para la selección de soluciones hidrogeológicas	221
a. Drenajes frente a barreras estancas ventajas e inconvenientes	221
b. Sistemas temporales frente a soluciones permanentes	222
c. Integración de la solución hidrogeológica en el diseño geotécnico global	223
Capítulo 14: Drenaje superficial y subterráneo en plataformas, taludes y excavaciones ..	224
1. Drenaje superficial en obras lineales	224
a. Cunetas, bermas y obras de fábrica para evacuar aguas	224
b. Prevención de erosiones y socavaciones en plataformas	225
c. Integración del drenaje en el diseño de firmes y taludes	226
2. Drenaje subterráneo en terraplenes y desmontes.....	227
a. Drenes longitudinales y transversales profundos	227
b. Subdrenes en pies de terraplén y desmonte.....	228
c. Compatibilidad con sistemas de gestión de aguas pluviales	228

3. Drenaje y control de presiones en excavaciones urbanas	229
a. Sistemas de drenaje interior de recintos de contención.....	229
b. Pozos de alivio y drenes subterráneos de fondo.....	230
c. Reducción de empujes por acción del drenaje	230
4. Drenaje y estabilidad frente a licuación y colapsos.....	231
a. Papel del drenaje en la reducción de presiones intersticiales.....	231
b. Relación entre drenaje, licuación potencial y sismos.....	232
c. Estrategias de drenaje para suelos colapsables y expansivos	232
5. Diseño, ejecución y mantenimiento de sistemas de drenaje	233
a. Dimensionamiento hidráulico y geotécnico	233
b. Materiales filtrantes, geocompuestos y pozos de registro	234
c. Planes de mantenimiento y desobstrucción.....	234
6. Patologías geotécnicas asociadas a un drenaje deficiente.....	235
a. Asientos diferenciales, deslizamientos y erosiones internas	235
b. Humedades, filtraciones y daños en estructuras	236
c. Casos tipo y lecciones aprendidas en España y Latinoamérica	236
PARTE OCTAVA.	238
Instrumentación, auscultación y método observacional.....	238
Capítulo 15: Sistemas de instrumentación geotécnica para obras lineales y urbanas.....	238
1. Objetivos de la instrumentación geotécnica.....	238
a. Verificación de hipótesis de diseño y modelos de cálculo	238
b. Detección temprana de comportamientos anómalos	239
c. Soporte a la toma de decisiones en control de riesgos	240
2. Instrumentación en obras lineales (carreteras y ferrocarriles)	241
a. Inclínómetros, extensómetros y piezómetros en taludes y terraplenes.....	241
b. Medida de asientos en plataformas y estructuras.....	242
c. Redes de auscultación en tramos críticos.....	243
3. Instrumentación en excavaciones y obras urbanas.....	244
a. Inclínómetros en pantallas y muros	244
b. Puntos topográficos en edificios y superficie	245
c. Células de carga en anclajes, puntales y micropilotes	245
4. Tecnologías avanzadas de auscultación	246
a. Auscultación geodésica, topográfica y láser escáner	246
b. Técnicas de fibra óptica y sensores distribuidos	247
c. Radar interferométrico y técnicas satelitales	247
5. Planes de instrumentación y gestión de datos	248
a. Diseño de un plan de instrumentación geotécnica	248
b. Frecuencia de lectura, alarmas y tratamiento de datos.....	249
c. Integración con plataformas digitales y BIM	250
6. Interpretación de resultados y toma de decisiones	251
a. Comparación con previsiones de proyecto	251
b. Activación de medidas correctoras y planes de contingencia.....	251
c. Documentación para explotación y mantenimiento	252
Capítulo 16: Aplicación del método observacional al control de riesgos geotécnicos	254

1. Principios del método observacional en geotecnia	254
a. Definición, etapas y requerimientos	254
b. Ventajas frente a enfoques puramente prescriptivos	255
c. Limitaciones y condiciones de aplicación	256
2. Definición de escenarios y umbrales de actuación.....	257
a. Escenarios de comportamiento esperados y alternativos	257
b. Parámetros y umbrales medibles asientos, movimientos, presiones	258
c. Planes de respuesta graduados según nivel de alarma	259
3. Uso del método observacional en obras lineales	260
a. Taludes de carretera y ferrocarril	260
b. Terraplenes sobre suelos blandos con mejora del terreno	261
c. Estructuras lineales sensibles a asientos	261
4. Uso del método observacional en excavaciones y túneles urbanos	262
a. Excavaciones profundas y edificios colindantes	262
b. Túneles en suelos blandos con afecciones a terceros	263
c. Adecuación de medidas de mejora jet, inyecciones, drenajes	264
5. Integración del método observacional en el contrato	265
a. Definición contractual de parámetros y límites	265
b. Responsabilidades de promotor, proyectista y contratista	265
c. Gestión de modificaciones y costes asociados	266
6. Lecciones aprendidas y recomendaciones prácticas	267
a. Casos de éxito y casos problemáticos	267
b. Factores organizativos y de comunicación clave.....	267
c. Recomendaciones para proyectos en España y Latinoamérica	268
PARTE NOVENA.	270
Gestión del riesgo geotécnico, contratos y seguros	270
Capítulo 17: Identificación y cuantificación del riesgo geotécnico	270
1. Concepto de riesgo geotécnico en obras lineales y urbanas	270
a. Probabilidad, consecuencias y aceptabilidad del riesgo	270
b. Diferencias entre riesgos en fase de construcción y en servicio	271
c. Rol del especialista geotécnico en la gestión del riesgo	272
2. Herramientas para identificar riesgos geotécnicos	273
a. Listas de chequeo específicas por tipología de obra	273
b. Talleres de riesgos y sesiones de lecciones aprendidas	274
c. Revisión de patología histórica en infraestructuras similares	274
3. Matrices y mapas de riesgo geotécnico.....	275
a. Construcción de matrices de probabilidad-impacto.....	275
b. Priorización de riesgos en corredores y zonas urbanas	276
c. Representación gráfica para la toma de decisiones	277
4. Análisis económico del riesgo geotécnico	277
a. Coste esperado de fallos y sobrecostes de mitigación	277
b. Evaluación de alternativas de mejora del terreno	278
c. Riesgos asegurables y no asegurables	279
5. Incorporación del riesgo geotécnico al diseño y la mejora del terreno	280
a. Sobredimensionamiento selectivo frente a monitorización intensiva	280

b. Soluciones robustas frente a soluciones optimizadas	280
c. Estrategias de resiliencia y capacidad de adaptación	281
6. Comunicación del riesgo geotécnico	282
a. Comunicación interna dentro del equipo de proyecto	282
b. Comunicación con promotores, autoridades y vecinos	282
c. Documentación del riesgo en informes y contratos	283
Capítulo 18: Gestión contractual, reclamaciones y seguros en geotecnia	285
1. Condiciones del terreno y reparto de riesgos en contratos	285
a. Concepto de ground risk en distintos modelos contractuales	285
b. Rol del Geotechnical Baseline Report (GBR)	286
c. Ajustes de precio y plazo por condiciones del terreno distintas	287
2. Documentación clave para reclamaciones geotécnicas	288
a. Registros de obra, partes diarios y resultados de ensayos	288
b. Datos de instrumentación y auscultación	289
c. Informes periciales y contrainformes	289
3. Gestión de cambios por mejora del terreno y control de riesgos	290
a. Variaciones por aparición de suelos problemáticos	290
b. Incremento de necesidades de jet, columnas o drenajes	291
c. Negociación de modificaciones de alcance y coste	292
4. Seguros y coberturas relacionados con riesgos geotécnicos	292
a. Seguros de responsabilidad civil profesional	292
b. Seguros decenales y específicos de obra civil	293
c. Limitaciones y exclusiones habituales en riesgos del terreno	294
5. Resolución de conflictos geotécnicos	294
a. Negociación directa y mediación técnica	294
b. Arbitraje especializado en construcción e ingeniería	295
c. Procedimientos judiciales y prueba pericial geotécnica	295
6. Buenas prácticas contractuales en España y Latinoamérica	296
a. Cláusulas recomendables sobre investigación del terreno	296
b. Referencias a mejora del terreno y monitorización	297
c. Mecanismos para compartir y mitigar el riesgo geotécnico	297
PARTE DÉCIMA.	299
HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS. CHECKLISTS Y FORMULARIOS GEOTÉCNICOS.	299
Capítulo 19: Checklists y formularios para investigación del terreno	299
CHECKLIST Nº 19.01 — Recopilación de información geotécnica previa	299
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	300
Sección 2. Datos del corredor y fuentes de información localizadas	300
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas de información previa	301
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	302
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	302
Sección 6. Costes, importes y garantías	302
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	303
Sección 8. Evidencias y referencias	303
FORMULARIO Nº 19.02 — Inventario de informes y cartografía geotécnica	304

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	304
Sección 2. Datos del activo/terreno y registro de documentos	304
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas sobre el inventario	305
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo asociados al inventario	306
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes del inventario	306
Sección 6. Costes, importes y garantías del inventario	306
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	307
Sección 8. Evidencias y referencias	307

FORMULARIO Nº 19.03 — Resumen geotécnico inicial de obra lineal/urbana.....308

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	308
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble y contexto geológico-urbanístico	308
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras (Módulo Técnico-Construcción y Urbanismo-Planeamiento)	309
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo (Módulo Riesgos y Seguridad)	309
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	310
Sección 6. Costes, importes y garantías (Módulo Inmobiliario-Financiero básico)	310
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	310
Sección 8. Evidencias y referencias	311

FORMULARIO Nº 19.04 — Parte diario de campaña geotécnica.....311

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	311
Sección 2. Datos técnicos de sondeos y ensayos realizados (Módulo Técnico-Construcción)	312
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas	312
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo (Módulo Riesgos y Seguridad)	313
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	313
Sección 6. Costes, importes y garantías	313
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	314
Sección 8. Evidencias y referencias	314

FORMULARIO Nº 19.05 — Registro de incidencias y modificaciones de programa de campaña geotécnica.....315

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	315
Sección 2. Datos del activo/terreno y del programa previsto	315
Sección 3. Descripción detallada de la incidencia y de la modificación de programa.....	316
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo (Módulo Riesgos y Seguridad / Jurídico-Contractual)	316
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	317
Sección 6. Costes, importes y garantías	317
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	317
Sección 8. Evidencias y referencias	318

FORMULARIO Nº 19.06 — Registro de ensayos de laboratorio vinculados a sondeos.....318

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	318
Sección 2. Datos del activo/terreno y del lote de muestras.....	319
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas de los ensayos	319
Sección 4. Registro detallado de ensayos por muestra	319
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes de laboratorio	320
Sección 6. Costes, importes y garantías	320
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	321
Sección 8. Evidencias y referencias	321

Capítulo 20: Checklists y formularios para mejora del terreno (jet, columnas, drenajes)..322

CHECKLIST Nº 20.01 — Selección de técnicas de mejora del terreno en obras lineales322

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	322
Sección 2. Datos del activo/terreno y condicionantes principales.....	323
Sección 3. Requisitos y verificaciones geotécnicas para selección de técnica	323
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	323
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes de ejecución	324
Sección 6. Costes, importes y garantías	324
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	324
Sección 8. Evidencias y referencias	325

CHECKLIST Nº 20.02 — Selección de técnicas de mejora del terreno en entornos urbanos325

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	325
Sección 2. Datos del entorno urbano y condicionantes.....	325
Sección 3. Requisitos de comportamiento geotécnico para selección de técnica	326
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	326
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes operativos.....	327
Sección 6. Costes, importes y garantías	327
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	327
Sección 8. Evidencias y referencias	327

FORMULARIO Nº 20.03 — Comparativo de alternativas de mejora del terreno.....328

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	328
Sección 2. Descripción de alternativas técnicas	328
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	329
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	329
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	329
Sección 6. Costes, importes y análisis económico.....	330
Sección 7. Conclusión comparativa y selección propuesta	330
Sección 8. Aprobaciones y evidencias	330

FORMULARIO Nº 20.04 — Datos de entrada para diseño de columnas granulares y rígidas.....331

Sección 1. Identificación y alcance del proyecto	331
Sección 2. Datos del terreno y de la plataforma	331
Sección 3. Parámetros geotécnicos de cálculo.....	331
Sección 4. Requisitos de diseño y criterios de aceptabilidad	332
Sección 5. Hipótesis de malla y geometría de columnas.....	332
Sección 6. Costes y condicionantes económicos de diseño	332
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	332
Sección 8. Evidencias y referencias	333

FORMULARIO Nº 20.05 — Hoja tipo de dimensionamiento de mallas de columnas333

Sección 1. Identificación y alcance	333
Sección 2. Datos resumidos de entrada (referencia a FORM 20.04 equivalente).....	333
Sección 3. Resultados para malla 1 (escenario básico)	334
Sección 4. Resultados para malla 2 (escenario optimizado)	334
Sección 5. Verificación de estabilidad y capacidad portante	334
Sección 6. Costes asociados a cada malla	335
Sección 7. Selección final y observaciones	335
Sección 8. Aprobaciones y evidencias	335

FORMULARIO Nº 20.06 — Resumen de parámetros y secciones tipo de mejora con columnas.336

Sección 1. Identificación del proyecto y objeto del formulario.....	336
Sección 2. Parámetros generales de columnas granulares	336
Sección 3. Parámetros generales de inclusiones rígidas	336
Sección 4. Sección tipo 1 — Terraplén moderado sobre suelos blandos.....	337
Sección 5. Sección tipo 2 — Terraplén alto próximo a estructura	337

Sección 6. Costes unitarios y condicionantes de medición	337
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	338
Sección 8. Evidencias y referencias	338

Capítulo 21: Checklists y formularios para diseño, instrumentación y control de riesgos...339

CHECKLIST Nº 21.01 — Coherencia de parámetros en modelos geotécnicos339

Sección 1. Identificación y alcance del modelo	339
Sección 2. Coherencia de parámetros de resistencia	340
Sección 3. Coherencia de parámetros deformacionales	340
Sección 4. Coherencia de parámetros hidráulicos	340
Sección 5. Coherencia entre parámetros de cálculo y normativa	341
Sección 6. Coherencia global y trazabilidad	341
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	341
Sección 8. Evidencias y referencias	341

FORMULARIO Nº 21.02 — Revisión cruzada modelo–ensayos–experiencia342

Sección 1. Identificación y alcance del formulario	342
Sección 2. Síntesis de resultados de ensayos	342
Sección 3. Comparación modelo–ensayos: resistencia y deformabilidad	342
Sección 4. Comparación modelo–experiencia previa en proyectos similares	343
Sección 5. Revisión cruzada de comportamiento esperado vs aceptable	343
Sección 6. Conclusiones de la revisión cruzada	343
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	344
Sección 8. Evidencias y referencias	344

FORMULARIO Nº 21.03 — Validación del modelo geotécnico final344

Sección 1. Identificación del modelo a validar	344
Sección 2. Lista de comprobaciones de validación	345
Sección 3. Alcance y limitaciones del modelo	345
Sección 4. Condiciones para el uso del modelo en diseño	345
Sección 5. Aceptación del modelo por los distintos agentes	345
Sección 6. Conclusión de validación	346
Sección 7. Firmas (RACI)	346
Sección 8. Evidencias y referencias	346

FORMULARIO Nº 21.04 — Definición de objetivos de auscultación geotécnica347

Sección 1. Identificación del proyecto y del sistema a auscultar	347
Sección 2. Objetivos generales de auscultación	347
Sección 3. Objetivos específicos por elemento	347
Sección 4. Criterios cuantitativos de aceptación	348
Sección 5. Requisitos de integración de datos	348
Sección 6. Alcance temporal y fases de auscultación	348
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	348
Sección 8. Evidencias y referencias	349

FORMULARIO Nº 21.05 — Selección de instrumentos y localizaciones de auscultación349

Sección 1. Identificación general	349
Sección 2. Lista de instrumentos seleccionados	349
Sección 3. Localización de instrumentos (síntesis)	350
Sección 4. Relación objetivo–instrumento	350
Sección 5. Condiciones de instalación y mantenimiento	350
Sección 6. Costes y garantías	350
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	351
Sección 8. Evidencias y referencias	351

FORMULARIO Nº 21.06 — Especificaciones técnicas mínimas de instrumentación geotécnica..351

Sección 1. Identificación del pliego y proyecto	351
Sección 2. Especificaciones mínimas para inclinómetros	352
Sección 3. Especificaciones mínimas para piezómetros	352
Sección 4. Especificaciones mínimas para prisas topográficos y estaciones	352
Sección 5. Requisitos generales de instalación y calibración	352
Sección 6. Costes y garantías mínimas	353
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	353
Sección 8. Evidencias y referencias	353

PARTE UNDÉCIMA.354
Práctica de ingeniería geotécnica aplicada a obras lineales y urbanas354
Capítulo 22: Casos prácticos geotécnicos en carreteras, ferrocarriles y redes lineales.....354

1. Carretera sobre suelos blandos con drenes y columnas	354
a. Contexto del proyecto en España o Latinoamérica	354
b. Estrategia de investigación, mejora del terreno y control de riesgos	355
c. Resultados obtenidos y lecciones aprendidas	356
2. Plataforma ferroviaria en terreno colapsable	357
a. Problemas detectados y campañas complementarias	357
b. Soluciones de mejora del terreno y drenaje lineal	358
c. Comportamiento en explotación y mantenimiento	359
3. Taludes en carretera de montaña con estabilización avanzada	360
a. Riesgos identificados y priorización de soluciones	360
b. Medidas de refuerzo, drenaje e instrumentación	361
c. Evaluación posterior de la eficacia y costes	362
4. Paso inferior o marco bajo infraestructura existente	363
a. Condicionantes geotécnicos y estructurales	363
b. Mejora del terreno, control de asentos y monitorización	363
c. Gestión de riesgos en construcción y servicio	364
5. Rehabilitación geotécnica de plataforma con problemas de asentos	365
a. Diagnóstico de la patología existente	365
b. Soluciones de inyección, columnas o refuerzo de firmes	366
c. Seguimiento en explotación y resultados	366
6. Síntesis comparativa de casos en España y Latinoamérica	367
a. Factores comunes de éxito y de fallo	367
b. Influencia del contexto contractual y de la gestión del riesgo	368
c. Recomendaciones prácticas para futuros proyectos	369

Capítulo 23: Casos prácticos geotécnicos en excavaciones, túneles y redes urbanas370

1. Aparcamiento subterráneo entre medianeras con jet y micropilotes	370
a. Condicionantes urbanos y geotécnicos	370
b. Estrategia de mejora del terreno, contención e instrumentación	371
c. Resultados y gestión de riesgos con los vecinos	372
2. Estación de metro con excavación profunda y edificios singulares	373
a. Investigación del terreno y modelo geotécnico urbano	373
b. Diseño de pantallas, anclajes y monitorización intensiva	374
c. Comportamiento real y ajustes mediante método observacional	375

3. Colector de gran diámetro en calles estrechas	376
a. Selección del trazado y condicionantes geotécnicos.....	376
b. Métodos de excavación, mejora del terreno y control de agua	377
c. Gestión del tráfico, servicios y quejas vecinales	378
4. Recalce de edificio afectado por excavación vecina	379
a. Diagnóstico del riesgo geotécnico y estructural.....	379
b. Soluciones de recalce con micropilotes e inyecciones	380
c. Monitorización, reparación de daños y acuerdos	381
5. Gestión de un incidente geotécnico con daños a terceros.....	382
a. Descripción del incidente y sus causas	382
b. Respuesta técnica, contractual y aseguradora.....	382
c. Lecciones aprendidas para el control de riesgos futuros	383
6. Síntesis final: buenas prácticas en geotecnia urbana aplicada.....	384
a. Factores clave en investigación, mejora y control de riesgos	384
b. Importancia de checklists, formularios y método observacional.....	385
c. Conclusiones generales de la guía para España y Latinoamérica	385
Capítulo 24: Casos prácticos de ingeniería geotécnica aplicada a obras lineales y urbanas	387
Caso práctico 1. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Mejora integral de una plataforma de carretera sobre suelos blandos de alta compresibilidad.....	387
Causa del Problema	387
Soluciones Propuestas.....	389
1. Alternativa 1: Precarga + DVP en todo el tramo blando	389
2. Alternativa 2: Columnas granulares en zonas críticas + DVP y precarga optimizada	390
Consecuencias Previstas.....	392
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	393
Lecciones Aprendidas	395
Caso práctico 2. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Plataforma ferroviaria sobre suelos colapsables en clima semiárido.	397
Causa del Problema	397
Soluciones Propuestas.....	398
Solución 1. Sustitución selectiva de suelos colapsables en zonas críticas	398
Solución 2. Prehumectación, compactación mejorada, columnas de grava y drenaje reforzado	399
Consecuencias Previstas.....	401
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	402
Lecciones Aprendidas	403
Caso práctico 3. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Estabilización avanzada de taludes en una carretera de montaña.	405
Causa del Problema	405
Soluciones Propuestas.....	406
1. Alternativa A. Redefinición geométrica y reprofilado masivo de taludes.....	407
2. Alternativa B. Estabilización avanzada combinada	408
Consecuencias Previstas.....	409
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	411
Lecciones Aprendidas	412
Caso práctico 4. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Ejecución de un paso inferior bajo una línea ferroviaria en servicio.....	414
Causa del Problema	414

Soluciones Propuestas.....	415
Solución 1. Excavación a cielo abierto con desvío temporal de la vía	416
Solución 2. Marco hincado bajo vía en servicio con mejora del terreno y método observacional	417
Consecuencias Previstas.....	419
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	420
Lecciones Aprendidas.....	421
Caso práctico 5. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."	
Rehabilitación geotécnica de una plataforma de autovía con asientos diferenciales.	423
Causa del Problema.....	423
Soluciones Propuestas.....	424
1. Alternativa 1: Rehabilitación superficial estructural del firme	424
2. Alternativa 2: Mejora geotécnica integral de la subrasante y rehabilitación del firme	425
Consecuencias Previstas.....	427
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	429
Caso práctico 6. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Excavación profunda de sótanos entre medianeras en un entorno urbano consolidado.	432
Causa del Problema.....	432
Soluciones Propuestas.....	434
Solución 1. Reducción de profundidad del sótano y refuerzo moderado	434
Solución 2. Mejora intensiva del terreno, recalce exhaustivo e instrumentación avanzada.....	435
Consecuencias Previstas.....	437
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	439
Lecciones Aprendidas.....	440
Caso práctico 7. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Control de asientos en un túnel urbano de metro bajo edificaciones históricas.	443
Causa del Problema.....	443
Soluciones Propuestas.....	445
1. Solución 1. Profundización y desvío parcial del trazado	445
2. Solución 2. Mejora intensiva del terreno + método observacional	446
Consecuencias Previstas.....	448
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	449
Lecciones Aprendidas.....	450
Caso práctico 8. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Colector de gran diámetro en calles estrechas con nivel freático elevado.	453
Causa del Problema.....	453
Soluciones Propuestas.....	455
1. Alternativa 1: Ajuste moderado con EPB "bien operada"	455
2. Alternativa 2: Segmentación de riesgo, mejora del terreno y método observacional estricto	456
Consecuencias Previstas.....	458
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	459
Lecciones Aprendidas.....	461
Caso práctico 9. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Mitigación del riesgo de licuación en una autovía costera en zona sísmica.	463
Causa del Problema.....	463
Soluciones Propuestas.....	464
Solución 1. Compactación profunda + drenaje vertical selectivo	465
Solución 2. Columnas de grava drenantes + inclusiones rígidas en zonas críticas.....	466
Consecuencias Previstas.....	468
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	470
Lecciones Aprendidas.....	472

Caso práctico 10. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Plataforma ferroviaria sobre rellenos antrópicos y vertedero clausurado.474

Causa del Problema	474
Soluciones Propuestas.....	476
Solución 1. Desvío parcial y soluciones superficiales sobre rellenos reducidos	476
Solución 2. Plataforma sobre vertedero con inclusiones rígidas, columnas y sistema de barrera y gases.....	477
Consecuencias Previstas.....	480
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	481
Lecciones Aprendidas.....	483

Caso práctico 11. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Control de agua subterránea mediante jet grouting e inyecciones en una estación de metro urbana.486

Causa del Problema	486
Soluciones Propuestas.....	487
Solución 1. Rebajamiento intensivo + refuerzo local de muros y fondo.....	488
Solución 2. Jet grouting e inyecciones + rebajamiento moderado + método observacional	489
Consecuencias Previstas.....	491
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	492
Lecciones Aprendidas.....	493

Caso práctico 12. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Excavación profunda entre medianeras con recinto de micropilotes y anclajes bajo edificio en servicio.....496

Causa del Problema	496
Soluciones Propuestas.....	498
Solución 1. Muro pantalla reforzado + anclajes "cortos" + recalces puntuales.....	498
Solución 2. Recinto de micropilotes pantalla + anclajes + losas (top-down parcial) + recalce integral	499
Consecuencias Previstas.....	501
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	503
Lecciones Aprendidas.....	504

Caso práctico 13. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."

Rehabilitación de una plataforma ferroviaria en clima húmedo mediante drenaje superficial y subterráneo integrado.506

Causa del Problema	506
Soluciones Propuestas.....	508
Solución 1. Intervención ligera de drenaje superficial y estabilización geométrica	508
Solución 2. Sistema integral de drenaje superficial y subterráneo, con mejora local	509
Consecuencias Previstas.....	511
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	513
Lecciones Aprendidas.....	514

Caso práctico 14. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Gestión de una barrera hidráulica causada por pantallas de metro en un barrio consolidado.516

Causa del Problema	516
Soluciones Propuestas.....	518
Solución 1. Bombeo permanente y pozos drenantes	518
Solución 2. Sistema integral de alivio hidráulico: drenes, ventanas hidráulicas y recarga controlada..	519
Consecuencias Previstas.....	521
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	522
Lecciones Aprendidas.....	524

Caso práctico 15. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."

Implantación de instrumentación geotécnica y método observacional en terraplén ferroviario sobre suelos blandos.....527

Causa del Problema	527
Soluciones Propuestas.....	529
Solución 1. Refuerzo ligero de la instrumentación existente	529
Solución 2. Sistema avanzado de instrumentación y método observacional formal	530
Consecuencias Previstas.....	533
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	534
Lecciones Aprendidas.....	535

Caso práctico 16. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Ejecución de un túnel urbano poco profundo bajo edificios históricos con método observacional avanzado.537

Causa del Problema	537
Soluciones Propuestas.....	539
Solución 1. Ajuste del NATM original con refuerzo limitado	539
Solución 2. Mejora del terreno, recalce selectivo e instrumentación avanzada con método observacional	540
Consecuencias Previstas.....	543
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	543
Lecciones Aprendidas.....	545

Caso práctico 17. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Gestión de cavidades kársticas imprevistas en una autovía urbana y su tratamiento geotécnico–contractual.547

Causa del Problema	547
Soluciones Propuestas.....	549
Solución 1. Tratamientos locales reactivos y gestión caso a caso	549
Solución 2. Gestión sistemática del riesgo kárstico: modelo actualizado, tratamiento tipificado y marco contractual claro	550
Consecuencias Previstas.....	553
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	554
Lecciones Aprendidas.....	556

Caso práctico 18. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Reparto de riesgos del terreno y gestión de reclamaciones en un soterramiento urbano de autovía.558

Causa del Problema	558
Soluciones Propuestas.....	560
Solución 1. Enfoque contractual defensivo: "lo que pone el pliego"	560
Solución 2. Redefinición compartida del riesgo geotécnico: GBR negociado y matriz de soluciones ...	562
Consecuencias Previstas.....	564
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	565
Lecciones Aprendidas.....	566

Caso práctico 19. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."

Implantación de checklists y formularios geotécnicos corporativos en la ampliación de un corredor viario y ferroviario.569

Causa del Problema	569
Soluciones Propuestas.....	571
Solución 1. Ajustes incrementales sin sistema formal	571
Solución 2. Sistema Corporativo de Gestión Geotécnica (SCGG) con checklists y formularios	572
Consecuencias Previstas.....	575
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	576
Lecciones Aprendidas.....	578

Caso práctico 20. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."

Normalización del diseño y control de jet grouting e inyecciones en una estación intermodal urbana.581

Causa del Problema	581
Soluciones Propuestas.....	583
Solución 1. Corrección local y mejoras puntuales sin formalización	583
Solución 2. Formularios corporativos de diseño y control de jet grouting e inyecciones	585
Consecuencias Previstas.....	588
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	589
Lecciones Aprendidas.....	591

Caso práctico 21. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS."

Estandarización de la revisión de modelos geotécnicos y planes de instrumentación en un corredor de metro ligero.....593

Causa del Problema	593
Soluciones Propuestas.....	595
Solución 1. Supervisión reforzada sin normalización formal	595
Solución 2. Checklists y formularios corporativos para modelo geotécnico, instrumentación y riesgo	597
Consecuencias Previstas.....	600
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	601
Lecciones Aprendidas.....	603

Caso práctico 22. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Carretera periurbana sobre suelos blandos con drenes verticales y columnas granulares.....606

Causa del Problema	606
Soluciones Propuestas.....	607
Solución 1. Precarga con drenes verticales prefabricados.....	607
Solución 2. Columnas granulares bajo terraplenes y zonas críticas.....	609
Solución 3. Esquema combinado: drenes + precarga + columnas granulares en zonas singulares	610
Consecuencias Previstas.....	612
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	613
Lecciones Aprendidas.....	614

Caso práctico 23. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Excavación de un aparcamiento subterráneo entre medianeras con jet grouting y micropilotes en entorno urbano denso.617

Causa del Problema	617
Soluciones Propuestas.....	618
Solución 1. Pantallas con anclajes y rebajamiento sin mejora del terreno.....	619
Solución 2. Pantallas + tapón de jet grouting + bulbos de mejora, sin recalce generalizado	620
Consecuencias Previstas.....	623
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	624
Lecciones Aprendidas.....	625

Caso práctico 24. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Recalce integral de un edificio histórico afectado por la excavación de una estación de metro ligero. ..628

Causa del Problema	628
Soluciones Propuestas.....	630
Solución 1. Refuerzo superficial e inyecciones de compensación	630
Solución 2. Recalce parcial con micropilotes en fachada principal.....	631
Consecuencias Previstas.....	634
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	636
Lecciones Aprendidas.....	637

Caso práctico 25. "INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS." Síntesis de buenas prácticas tras un incidente geotécnico en un corredor urbano internacional.....640

Causa del Problema	640
--------------------------	-----



Soluciones Propuestas.....	641
Solución 1. Respuesta limitada centrada en el incidente	642
Solución 2. Programa estructurado de buenas prácticas geotécnicas a escala de programa (solución adoptada).....	643
Consecuencias Previstas.....	646
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	647
Lecciones Aprendidas.....	649

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Comprender el papel de la ingeniería geotécnica en el diseño, construcción y explotación de carreteras, ferrocarriles y obras urbanas.
- Elaborar modelos geológico-geotécnicos coherentes e interpretables para corredores lineales y entornos urbanos complejos.
- Planificar y dimensionar campañas de investigación del terreno en obras lineales y en ciudad, optimizando el equilibrio entre coste e incertidumbre.
- Caracterizar plataformas, terraplenes, taludes y cimentaciones y traducir los resultados de ensayos a parámetros de proyecto.
- Diseñar soluciones de mejora del terreno en obras lineales con precarga, drenes, columnas granulares e inclusiones rígidas.
- Diseñar y justificar tratamientos urbanos con jet grouting, inyecciones, micropilotes y anclajes, integrados con el método constructivo.
- Analizar el comportamiento hidrogeológico, definir estrategias de drenaje y controlar presiones intersticiales en plataformas, taludes y excavaciones.
- Modelizar excavaciones, contenciones, taludes y estructuras lineales mediante métodos simplificados y numéricos, calibrados con la realidad.
- Definir, dimensionar y gestionar sistemas de instrumentación y auscultación geotécnica aplicando el método observacional al control de riesgos.
- Identificar, cuantificar y comunicar el riesgo geotécnico, integrándolo en el diseño, la mejora del terreno, los contratos y los seguros.
- Utilizar checklists y formularios geotécnicos normalizados para investigación del terreno, mejora, instrumentación y gestión contractual.
- Aplicar las lecciones aprendidas de casos prácticos reales en España y Latinoamérica para mejorar la toma de decisiones en proyectos futuros.

Introducción.



INGENIERÍA GEOTÉCNICA APLICADA A OBRAS LINEALES Y URBANAS: LA VENTAJA COMPETITIVA QUE NO SE VE, PERO SE NOTA

En los últimos años, el sector de las infraestructuras lineales y urbanas ha cambiado de forma profunda: corredores viarios y ferroviarios cada vez más complejos, entornos urbanos densos, presión social y ambiental, contratos más sofisticados y aseguradoras mucho más atentas al riesgo geotécnico. En este contexto, la diferencia entre un proyecto que funciona y otro que acumula reclamaciones, retrasos y sobrecostos suele estar oculta bajo la rasante: en la calidad de la ingeniería geotécnica aplicada desde el primer boceto hasta la explotación.

Demasiadas veces, la investigación del terreno se limita al mínimo exigido, la mejora del terreno se decide tarde y con información incompleta, y el control de riesgos se aborda de forma reactiva. El resultado es conocido: incidencias en obra, asientos imprevistos, problemas de drenaje, discusiones contractuales sobre las "condiciones del terreno" y, en última instancia, pérdida de confianza del promotor y de los demás agentes. Esta guía práctica nace precisamente para romper ese círculo, ofreciendo a los profesionales una herramienta clara, estructurada y orientada a la realidad de las obras lineales y urbanas en España y Latinoamérica.

La guía recorre, de forma íntegra y sistemática, todo el ciclo geotécnico de carreteras, ferrocarriles, metros, colectores y grandes excavaciones urbanas. Comienza por los fundamentos y el modelo geológico-geotécnico, continúa con la investigación del terreno en corredores y en ciudad, aborda la modelización y el diseño geotécnico, desarrolla las técnicas de mejora del terreno (jet grouting, columnas, drenes, inclusiones rígidas, inyecciones, micropilotes, anclajes), profundiza en la hidrogeología y el drenaje, y culmina con la instrumentación, el método observacional, la gestión del riesgo, los contratos, los seguros y una batería de casos prácticos reales. Todo ello se complementa con un bloque específico de checklists y formularios listos para usar, concebidos para integrarse en la práctica diaria de oficinas técnicas, direcciones de obra, consultoras y administraciones.



Para el profesional del sector, esta guía práctica no es un tratado académico más, sino una herramienta de trabajo pensada para abrir y utilizar en medio de un proyecto real. Le ayudará a estructurar la investigación del terreno y justificar el alcance de las campañas; a elegir y dimensionar con criterio las soluciones de mejora del terreno más adecuadas en cada caso; a interpretar y modelizar el comportamiento del terreno y de las estructuras con una visión realista; a diseñar planes de instrumentación coherentes con el método observacional; y a integrar el riesgo geotécnico en la toma de decisiones técnicas, económicas y contractuales. Los casos prácticos y los ejemplos de aplicación están redactados para que el lector pueda reconocer situaciones análogas en sus propios proyectos y adoptar decisiones mejor fundamentadas.

Los beneficios son tangibles: reducción de sobrecostes y reclamaciones ligadas al terreno, disminución de la probabilidad de incidentes geotécnicos con impacto en terceros, mayor capacidad para defender soluciones ante promotores, concesionarias y administraciones, y una mejora clara en la calidad y trazabilidad de la documentación técnica. Pero también hay beneficios intangibles, aunque igual de relevantes: reforzar la reputación profesional, hablar el mismo lenguaje que otros especialistas de referencia, y consolidar una forma de trabajar basada en el control del riesgo y la anticipación, no en la improvisación.

Si dirige, proyecta, revisa o explota obras lineales y urbanas, disponer de una guía estructurada, actualizada y orientada a la práctica supone una inversión directa en su propio rendimiento y en la competitividad de su equipo. En un entorno donde las decisiones geotécnicas tienen un impacto directo en la seguridad, el plazo y el coste global de la infraestructura, contar con un marco de trabajo sólido ya no es un lujo, sino una necesidad.

Esta guía le invita a dar un paso más: transformar la experiencia acumulada del sector en un sistema de trabajo geotécnico riguroso, reproducible y comunicable. El siguiente movimiento está en sus manos. Invertir en conocimiento especializado es, hoy más que nunca, la mejor garantía para avanzar hacia la excelencia técnica, reducir el riesgo y aportar un mayor valor a cada proyecto de obra lineal y urbana en el que participe.