

Prólogo

1988 será recordado en todo el mundo como un año importante en la construcción de túneles: ya ha circulado el primer tren por el túnel submarino de Seikan en Japón, reconocido como el proyecto de más difícil realización del mundo; se han reemprendido las obras del túnel del Canal de La Mancha, y esta cuarta tentativa de los últimos cien años permite vislumbrar la posibilidad de unir Gran Bretaña con el continente; se están construyendo muchos y muy importantes túneles ferroviarios, metropolitanos, hidráulicos y de aguas residuales, y se planea una nueva época de perforación de túneles haciendo programas para el inmediato futuro.

Resulta, pues, apropiado que sea éste el año en que se publique la primera edición de La excavación mecánica de túneles, de Laureano Cornejo, un libro que servirá de constante fuente de referencias para diseñadores y constructores, a los que les es vital comprender el rápido cambio y el permanente crecimiento que se produce en la tecnología de la excavación mecánica de túneles.

Se ha venido necesitando durante años un trabajo serio sobre este tema: muchos constructores de túneles con experiencia, familiarizados sólo con uno o dos tipos de máquinas perforadoras, necesitan más información para preparar licitaciones de futuros trabajos; algunos contratistas, experimentados en la perforación en roca, necesitan conocer las últimas técnicas de excavación en terrenos mixtos o en suelos saturados de agua. Acompañados de buenas ilustraciones, se explican con claridad en este libro las últimas técnicas y los más modernos equipos.

Los principios de fracturación de la roca y sus relaciones fundamentales con la ingeniería están explicados con el detalle suficiente como para que puedan ser utilizados por todo ingeniero que desee tener una base clara para el razonamiento en la excavación mecanizada. Estos principios básicos de ingeniería hacen del libro La excavación mecánica de túneles una referencia sin límites temporales y un texto que se podrá usar con confianza en el futuro.

Así pues, aquí tenemos una publicación única en la literatura técnica de túneles: un libro que no sólo hace referencia a los equipos y a las técnicas, sino que incluye también un tratado didáctico de la relación entre ciencia e ingeniería.

Laureano Cornejo es un ingeniero de túneles del Departamento Geotécnico de la prestigiosa empresa constructora española AGROMAN, de Madrid. Su empresa y él han construido muchos túneles tanto en terrenos montañosos como urbanos. Este libro está pensado para los que practican la perforación de túneles, los que los planifican, los diseñan y, sobre todo, los construyen. Damos, pues, la bienvenida a esta ayuda tan necesaria para los que hemos elegido este trabajo.

Richard J. Robbins,
Presidente de
The Robbins Company

Prólogo

The year 1988 will be remembered around the world as an important year in tunnel construction. The first train passed through Japan's undersea Seikan Tunnel marking the completion of what must be recognized as the world's most difficult tunnel project. The Channel Tunnel is again under way and this, the fourth start of construction in the past 100 years, seems certain to link Great Britain to the continent. Many important rail, subway, sewer and hydropower tunnels are being built and other epoch making tunnels are planned for the near future.

It is appropriate, therefore, that 1988 will be the year of publication of the first edition of *La Excavación Mecánica de Túneles* by Laureano Cornejo. This book will be a reference in constant use by tunnel designers and builders to whom it is essential to understand the rapidly growing and changing technology of mechanical underground excavation.

A serious work on this subject has been needed for years. Many experienced tunnel builders are familiar with only one or two types of tunnel boring machines but need more information to prepare a tender for an upcoming job. Some contractors have experience with rock boring but need to know about the latest techniques to excavate in mixed ground conditions or in water saturated soil. The latest equipment and techniques are explained clearly in this book and accompanied by good illustrations.

The principles of rock breaking and fundamental engineering relationships are explained in sufficient detail to be used by the serious engineer who wishes to have a clear basic understanding of mechanical excavation. These fundamental engineering principles make the book *La Excavación Mecánica de Túneles* a timeless reference and text which can be used with confidence many years into the future.

We have here a unique addition to the technical literature on tunneling: a book which is not solely a reference of equipment and techniques but also a scholarly treatise on the scientific and engineering relationships.

Laureano Cornejo is a tunnel engineer with the Goetechnical Department of the prestigious Spanish construction firm of AGROMAN, Madrid. He and his firm have built many tunnels in both urban and mountainous terrain. This book is for the practitioners of tunneling, the planners, designers and especially the tunnel builders. We welcome this much needed addition to help guide us in this our chosen work.

Richard J. Robbins,
President
The Robbins Company

Indice

Pág.

PROLOGO

LISTA DE SIMBOLOS

Capítulo 1. FUNDAMENTOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Útiles de corte	3
1.3. Picas	4
1.3.1. Relaciones básicas	5
1.4. Cortadores para roca	9
1.4.1. Cortadores de disco	9
1.4.2. Cortadores de rodillo dentado	18
1.4.3. Cortadores de botones	19
1.4.4. Rotura por impacto	21
1.5. El mecanismo de corte asistido con «Jets» de agua	23
1.5.1. Picas de fricción	23
1.5.2. Cortadores de rodillo «rolling cutter»	24
Bibliografía	30
Capítulo 2. MAQUINAS TOPO (TBM)	33
2.1. Definición general	33
2.2. Componentes esenciales	33
2.3. Desarrollo histórico	34
2.4. Principales fabricantes	36
2.4.1. Robbins de Seattle (USA)	36
2.4.2. Atlas Copco (Suecia)	41
2.4.3. Lovat Canadiense	41
2.4.4. Mannesman-Demag	42
2.4.5. Wirth (Alemania)	44
2.4.6. Bouygues francesa	47
2.5. Factores que influyen en el rendimiento de las máquinas ...	48
2.5.1. Efecto de la fuerza por cortador	48
2.5.2. Efecto de la separación entre surcos	49
2.5.3. Efecto del desafilado de los cortadores	49
2.5.4. Efecto del número de revoluciones de la cabeza	51
2.6. Nuevos desarrollos en las máquinas topo	51
2.7. La mecánica de rocas y los topes	53
2.8. Estimación de rendimientos	58
2.8.1. Penetración neta (PN)	58
2.8.2. Coeficiente de utilización	68
2.8.3. Horas útiles trabajadas/día	69
2.9. Estimación de costos de excavación con topo	70
2.9.1. Costo de mano de obra (CMO)	71
2.9.2. Costo de maquinaria (CMQ)	71
2.9.3. Costo de cortadores (CC)	72

2.9.4. Costo de mantenimiento, reparaciones y energía (CMRE)	73
2.9.5. Costo de gastos generales (CGG)	74
2.9.6. Costo total de ejecución material (CTEM)	74
Bibliografía	74
Capítulo 3. MAQUINAS DE ATAQUE PUNTUAL. ROZADORAS.	77
3.1. Introducción	77
3.2. Sistema de trabajo	78
3.2.1. Ataque puntual	78
3.2.2. Sistema de corte	78
3.2.3. Utiles de corte	80
3.2.4. Sistema de carga de escombros	88
3.3. Clasificación de máquinas	91
3.3.1. Máquinas de peso medio	91
3.3.2. Máquinas pesadas	91
3.3.3. Máquinas muy pesadas	91
3.4. Criterios para la elección de una rozadora	97
3.4.1. Resistencia a comprensión de la roca	97
3.4.2. Condicionantes geométricos	98
3.4.3. Condicionantes geomecánicos	98
3.4.4. Pendientes de trabajo	98
3.4.5. Presión transmitida al terreno	100
3.4.6. Características específicas de cada máquina	100
3.5. Rendimiento de rozado	100
3.6. Costo de utilización	105
3.6.1. Costo de excavación	105
3.6.2. La abrasividad de las rocas	108
3.7. Desgaste de picas	111
3.7.1. Influencia de la resistencia a comprensión de la roca.	113
3.7.2. Influencia de la resistencia a tracción de la roca	114
3.7.3. Influencia de la abrasividad de la roca	115
3.7.4. Influencia del diseño y calidad de los materiales	115
3.7.5. Influencia de la velocidad de corte	116
3.8. La rozabilidad de las rocas	117
3.8.1. El test de Goodrich	117
3.8.2. El test de rozabilidad Voest-Alpine	119
3.9. Ventajas que ofrece el empleo de rozadoras	119
3.10. La excavación asistida con chorro de agua (Water Jet)	119
3.11. Campo de utilización	120
3.11.1. Limitaciones técnicas	120
3.11.2. Limitaciones económicas	121
3.12. Los métodos constructivos en túneles y rozadoras	122
3.13. Principales fabricantes.....	123
Bibliografía	128
Capítulo 4. LA EXCAVACION MECANICA DE TERRENOS BLANDOS. LOS ESCUDOS	129
4.1. Introducción	129

4.2.	Qué es un escudo	129
4.3.	Evolución histórica	130
4.4.	La mecánica de suelos y los escudos	135
4.5.	Distintos comportamientos de los terrenos blandos	138
4.6.	Componentes básicos de un escudo	139
4.7.	Tipos de escudos	141
4.8.	Técnicas auxiliares de estabilización utilizadas en la construcción de túneles	192
4.9.	Criterios para la elección de escudos	204
4.10.	Tipos de revestimiento	204
4.11.	Inyecciones de contacto	216
4.12.	Costos	218
Bibliografía		220
Capítulo 5. LAS TECNICAS DEL MICROTUNEL		221
5.1.	Definición	221
5.2.	Campo de utilización	221
5.3.	Clasificación según diámetros	221
5.4.	La técnica del microtúnel en Japón	225
5.4.1.	Método de empuje	226
5.4.2.	Método Auger	229
5.4.3.	Método de perforación horizontal	231
5.4.4.	Método de excavación en túnel con escudo de lodos.	232
5.5.	La técnica del microtúnel en Alemania	236
5.5.1.	Sistema Telemole	237
5.5.2.	Sistema Hansemole	239
5.5.3.	Escudo articulado Dywidag	239
5.5.4.	Método de empuje de tubos (Pipe-Jacking)	240
5.6.	Técnicas de perforación con control direccional para tendido de tuberías	
5.7.	Sustitución de pequeño diámetro mediante un dispositivo «revienta tuberías»	245
5.8.	El agua a presión y la técnica del microtúnel	247
5.9.	Tendencias futuras	248
Bibliografía		249
Apéndice I. CORRELACIONES ENTRE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y DATOS REALES OBTENIDOS DURANTE LA PERFORACION CON MAQUINAS TUNELADORAS		251
Bibliografía		252
Apéndice II. ENSAYOS DE LABORATORIO PROPUESTOS POR LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE LAS ROCAS EN RELACION CON SUS METODOS DE EXCAVACION MECANICA		253
Apéndice III. LA ROZABILIDAD DE LAS ROCAS		255

	<u>Pág.</u>
Bibliografía	270
Apéndice IV. TABLAS DE USO FRECUENTE (ROCAS)	271
Bibliografía	290
Apéndice V. TABLAS DE USO FRECUENTE (TERRENOS- SUELOS)	291
Bibliografía	298
Apéndice VI. FACTORES DE CONVERSION	299