

ÍNDICE

Agradecimientos	7
Índice de anunciantes	23
Prólogo	25

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1- Introducción	29
1.2- El sector de los áridos en España	30
1.2.1- Perspectivas para el futuro	32
1.3- El sector de los áridos en Europa	33
1.4- El sector de los áridos en el mundo	34

CAPÍTULO 2. LEGISLACIÓN

2.1- Historia de la minería	38
2.2- Derecho Minero Español	40
2.2.1- Sistemas de ordenación minera	41
2.2.1.1- El sistema fundario	41
2.2.1.2- El sistema regaliano	41
2.2.1.3- El sistema industrial	42

2.2.1.4- El sistema dominical	42
2.2.1.5- Nacionalización	42
2.2.2- Historia del derecho minero español	42
2.2.3- La Ley de Minas de 21 de julio de 1973 (Ley 22/1973)	49
2.2.3.1- Desarrollo de la Ley de Minas de 21 de julio de 1973	49
2.2.3.2- Fomento de la minería: Beneficios fiscales	54
2.3- Normativa medioambiental en la Minería	56
2.3.1- La prevención medioambiental de la Ley 22/1973	56
2.3.2- Directivas Comunitarias	57
2.3.3- La ley de responsabilidad medioambiental (LRM)	59
2.3.3.1- Aplicación de la LRM	59
2.3.3.2- Responsabilidades	60
2.3.3.3- Obligaciones	60
2.3.3.4- Garantías financieras	60
2.3.3.5. Evaluación de daños potenciales y recuperación de costes	61
2.3.3.6. Sanciones	61
2.3.4- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental	61
2.3.4.1- Determinación del daño	62
2.3.4.2- Medidas reparadoras	62
2.3.5- El Real Decreto 975/2009, de 12 de junio sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras (modificado por el Real Decreto 777/2012)	63
2.3.6- Normativa Medioambiental de Emisiones, Residuos, Hidrología y Red Natura 2000 que afectan a la actividad minera	66
2.3.6.1- Emisiones	66
2.3.6.2- Residuos	67
2.3.6.2.1- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de cons- trucción y demolición (RCD)	67
2.3.6.2.2- Plan Nacional Integrado de Residuos	68
2.3.6.3- Hidrología	68
2.3.6.4- Red Natura 2000	68
2.3.7- Jurisprudencia minero-ambiental en España	69
2.4- Normativa Municipal. Licencia Municipal	70
2.4.1- Actividad calificada	71
2.4.2- El 122, nuevo artículo de la Ley de Minas	71
2.4.3- Dictamen del Comité Económico y Social Europeo (2009/C 27/19) ..	73

2.4.4- Licencia urbanística municipal	74
2.4.4.1- Jurisprudencia sobre urbanismo y minería	75
2.5- Normativa específica para áridos	78
2.5.1- Normativa de los áridos	78
2.5.2- Legislación de los áridos	79
2.5.2.1- Mercado CE de áridos	79
2.5.2.2- Evaluación de la conformidad	80

CAPÍTULO 3. TIPOLOGÍA, PROPIEDADES Y ENSAYOS

3.1- Definiciones	81
3.2- Tipología	82
3.2.1- Áridos naturales granulares	84
3.2.2- Áridos de machaqueo	86
3.2.2.1. Rocas ígneas	86
3.2.2.2. Rocas metamórficas	87
3.2.2.3. Rocas sedimentarias	88
3.2.3- Áridos secundarios	89
3.2.4- Áridos reciclados	89
3.2.5- Descripción petrográfica	93
3.3- Designación	96
3.4- Propiedades	96
3.4.1- Propiedades generales	97
3.4.2- Propiedades geométricas	97
3.4.2.1. Granulometría	97
3.4.2.2. Forma	99
3.4.2.3. Caras de fractura	100
3.4.2.4. Presencia de finos	101
3.4.3- Propiedades físicas	101
3.4.3.1. Densidad	101
3.4.3.2. Absorción de agua	102
3.4.3.3. Porosidad	102
3.4.3.4. Dureza	103
3.4.4- Propiedades mecánicas	103
3.4.5- Propiedades térmicas y de alteración	105
3.4.6- Propiedades químicas	107
3.4.6.1- Composición química	107
3.4.6.2- Reacciones álcali-árido	107

3.5- Ensayos	111
3.5.1- Propiedades generales	111
3.5.2- Propiedades geométricas	113
3.5.2.1. Granulometría	114
3.5.2.2. Forma	116
3.5.2.3. Caras de fractura	118
3.5.2.4. Coeficiente de flujo	118
3.5.2.5. Presencia de finos	119
3.5.2.6. Granulometría de los fillers	120
3.5.3- Propiedades mecánicas y físicas	120
3.5.3.1. Densidad	121
3.5.3.2. Absorción de agua	123
3.5.3.3. Porosidad	124
3.5.3.4. Dureza	125
3.5.3.5. Desgaste	127
3.5.3.6. Pulimento	128
3.5.4- Propiedades térmicas y de alteración	129
3.5.4.1. Propiedades térmicas	130
3.5.4.2. Propiedades de alteración	130
3.5.5- Propiedades químicas	133
3.5.5.1. Composición química	134
3.5.5.2. Reacciones álcali-árido	136
3.6- Mercado CE	137

CAPÍTULO 4. INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS Y EVALUACIÓN DE RESERVAS

4.1- Introducción	143
4.2- Investigación de yacimientos	144
4.2.1- Elección de zonas para la prospección	145
4.2.1.1. Mapas topográficos	146
4.2.1.2. Mapas geológicos	147
4.2.1.3. Sistemas de Información Geográfica	150
4.2.1.4- Estudios de la vegetación	151
4.2.1.5. Modelización de yacimientos	151
4.2.2- Estudio preliminar de yacimientos potencialmente interesantes ..	153
4.2.2.1. Estudio fotogeológico	153
4.2.2.2. Sensores remotos	154
4.2.2.3. Otros estudios	155

4.2.3- Estudio detallado del yacimiento	158
4.2.3.1. Métodos geofísicos	158
Introducción	163
Sondeos eléctricos verticales (SEV)	165
Tomografía eléctrica	166
Sondeos electromagnéticos de dominio de tiempos (SED)	172
Registro de la radiación gamma natural (RGN)	172
4.2.3.2. Sondeos mecánicos	176
4.2.3.3. Áridos marinos	181
4.3- Evaluación de las reservas	182
4.3.1- Introducción	182
4.3.3.1. Definiciones de recursos y reservas: clasificaciones	185
4.3.2- Métodos clásicos	187
4.3.2.1- Método de los perfiles	187
4.3.2.2. Método de los polígonos	190
4.3.2.3. Método de la triangulación	194
4.3.3. Métodos geoestadísticos	195
4.3.3.1. Concepto de variable regionalizada	195
4.3.3.2. Cálculo del semivariograma experimental	196
4.3.3.3. Modelos de semivariogramas	197
4.3.3.4. El krigeaje	198
4.3.3.5. La geoestadística en la evaluación de yacimientos de áridos	199

CAPÍTULO 5. DISEÑO DE CANTERAS Y GRAVERAS

5.1- Introducción	201
5.2- Tipos de explotaciones según el diseño	202
5.2.1- Canteras en ladera	202
5.2.1.1- Ejemplo de cantera de ladera. Cantera de Alpedroches	203
5.2.2- Canteras en horizontal	204
5.2.2.1- Ejemplo de cantera de superficie. Cantera de El Aljibe	204
5.2.3- Super canteras	205
5.2.3.1- Ejemplo de super cantera. Yeoman Glensanda	206
5.2.4- Canteras subterráneas	207
5.2.4.1- Cantera de Kanpanzar	207
5.2.5- Graveras por encima del nivel freático	209
5.2.5.1- Ejemplo de gravera por encima del nivel freático	210
5.2.6- Graveras bajo el nivel freático	210
5.2.6.1- Ejemplo de una gravera bajo el nivel del agua. Las Mercedes	212

5.3- Estabilidad de taludes	213
5.4- Parámetros de diseño de canteras	215
5.4.1- Dimensiones del banco de trabajo	215
5.4.2- Ángulo de talud	216
5.4.3- Accesos y pistas	218
5.4.3.1- Ancho de las pistas	220
5.4.3.2- Rampas	220
5.4.3.3- Pendiente	221
5.4.3.4- Compactación	222
5.4.3.5- Radio de curva y peralte	222
5.4.3.6- Drenajes	223
5.4.4- Bermas	223
5.4.5- Diseño de zonas de acopio	224

CAPÍTULO 6. PERFORACIÓN Y VOLADURA

6.1- Perforación en roca	231
6.1.1- Perforabilidad de los distintos tipos de rocas	231
6.1.1.1- Rocas ígneas	231
6.1.1.2- Rocas sedimentarias	234
6.1.1.3- Rocas metamórficas	235
6.1.2- Características intrínsecas de las rocas	236
6.1.2.1- Dureza	237
6.1.2.2- Resistencia	238
6.1.2.3- Densidad	239
6.1.2.4- Porosidad	239
6.1.2.5- Textura	241
6.1.2.6- Abrasividad	241
6.1.2.7- Elasticidad, plasticidad y fracturación	242
6.1.2.8- Modelo geoestructural del macizo rocoso	243
6.1.3- Métodos de explotación minera a cielo abierto	246
6.1.4- Tipos de perforación	250
6.1.4.1- Perforación neumática	251
6.1.4.2- Perforación hidráulica	252
6.1.4.3- Elección del sistema de perforación	253
6.2- Explosivos industriales	254
6.2.1- Propiedades de los explosivos	256
6.2.1.1- Estabilidad química	256

6.2.1.2- Sensibilidad	256
6.2.1.3- Velocidad de detonación	258
6.2.1.4- Potencia explosiva y poder rompedor	258
6.2.1.5- Densidad de encartuchado	261
6.2.1.6- Resistencia al agua	262
6.2.1.7- Humos	262
6.2.2- Tipos de explosivos	263
6.2.2.1- Dinamitas y gomas	263
6.2.2.2- Anfo	264
6.2.2.3- Hidrogeles	264
6.2.2.4- Emulsiones	265
6.2.2.5- Pólvora	265
6.2.3- Elección del explosivo	266
6.2.3.1- Características del trabajo a realizar	266
6.2.3.2- Diámetro de los barrenos	266
6.2.3.3- Tipo de roca	267
6.2.3.4- Agua	267
6.2.3.5- Gases del explosivo	267
6.2.4- Mecanismos de iniciación	267
6.2.4.1- Detonadores	267
6.3- Voladuras	269
6.3.1- Rotura de la roca por la acción del explosivo	269
6.3.2- Variables o factores que influyen en las voladuras	271
6.3.2.1- Altura del banco	272
6.3.2.2- Geometría del barreno	273
6.3.2.3- Piedra y espaciamento	274
6.3.2.4- Distribución de cargas en el barreno	276
6.3.3- Cálculo de voladuras	277
6.4- Vibraciones y onda aérea	280
6.4.1- Vibraciones	280
6.4.1.1- Factores que determinan las vibraciones	280
6.4.1.2- Ondas P y S y ondas de Rayleigh y Love	282
6.4.2- Onda aérea	283
6.4.3- Control de vibraciones provocadas por voladuras	284
6.4.3.1- Parámetros	285
6.4.3.2- Estructuras	285
6.4.3.3- Tipos de estudio	285
6.4.3.4- Instrumentos de medida	285

6.5- Análisis de voladuras: Proyecto Cantera El Aljibe	286
6.5.1 Objetivos del proyecto	286
6.5.2 La cantera	287
6.5.3 El sistema de medida de la fragmentación	287
6.5.4 El sistema de partes de los operarios	287
6.5.5 Monitorización de las voladuras	288
6.5.6 Proceso de datos	288

CAPÍTULO 7. MOVIMIENTO DE TIERRAS

7.1- Introducción	291
7.2- El movimiento de tierras en las explotaciones de áridos	292
7.2.1- Finalidad y sistemática en los movimientos de tierras	292
7.2.2- Operaciones típicas en un movimiento de tierras	292
7.2.3- Criterios y estudios a seguir en un movimiento de tierras	295
7.3- Aspectos técnicos	296
7.3.1- Excavabilidad	296
7.3.2- Ripabilidad	298
7.3.3- Densidad, esponjamiento y compactación	299
7.3.4- Carga y transporte	302
7.3.4.1- Carga del material	302
7.3.4.2- Transporte del material	303
7.4- Maquinaria	304
7.4.1- Excavadoras hidráulicas	306
7.4.1.1- Componentes	309
7.4.1.2- Ciclo de trabajo	311
7.4.2- Cargadoras	312
7.4.2.1- Componentes	314
7.4.2.2- Ciclo de trabajo	316
7.4.3- Dúmpers	317
7.4.3.1- Componentes	319
7.4.3.2- Ciclo de trabajo	320
7.4.4- Tractores	321
7.4.4.1- Componentes	321
7.4.4.2- Ciclo de trabajo	324
7.4.5- Maquinaria auxiliar	325
7.4.5.1- Motoniveladoras	325
7.5- Costes de la maquinaria	329
7.5.1- Factores que influyen en los costes	330

7.5.2- Costes horarios	330
7.5.2.1- Costes fijos	331
7.5.2.2- Costes de operación	335
7.5.2.3- Ejemplo práctico del cálculo de costes horarios	339
7.6- Rendimiento en las operaciones con maquinaria móvil	341
7.6.1- Factores meteorológicos y climatológicos	342
7.6.2- Factores geológicos	342
7.6.3- Factores imperativos	342

CAPÍTULO 8. TRITURACIÓN, CRIBADO Y CLASIFICACIÓN

8.1- Plantas de tratamiento de áridos	343
8.1.1- Criterios de selección de una planta de tratamiento	344
8.1.1.1- Reservas minerales	344
8.1.1.2- Material a procesar	344
8.1.1.3- Calidad de los productos finales	348
8.1.1.4- Ventas	350
8.1.1.5- Flexibilidad y versatilidad de la instalación	350
8.1.1.6- Adecuaciones medioambientales y de seguridad	351
8.1.1.7. Costes de producción	352
8.1.2- Tipos de instalaciones	352
8.1.2.1- Instalaciones por vía seca	353
8.1.2.2- Instalaciones por vía húmeda	355
8.1.3- Equipos móviles de trituración y cribado	356
8.2- Trituración	358
8.2.1- Machacadoras de mandíbulas	360
8.2.1.1- Definición	360
8.2.1.2- Constitución	361
8.2.1.3. Dinámica de trabajo	362
8.2.1.4. Componentes	365
8.2.1.5- Producción granulométrica	369
8.2.1.6- Coeficiente de forma y cubicidad	369
8.2.1.7- La machacadora de mandíbulas como equipo primario	370
8.2.1.8- Factores que condicionan la elección de una machacadora de mandíbulas como equipo primario	371
8.2.1.9- Ejemplos prácticos de capacidades de producción	374
8.2.1.10- Optimización de la machacadora de mandíbulas	375
8.2.2- Trituradores de cono	377
8.2.2.1- Definición	377

8.2.2.2-	La cámara de trituración	379
8.2.2.3-	Cubicidad	383
8.2.2.4-	Instrucciones para el buen funcionamiento de los trituradores de cono	385
8.2.2.5-	Factores que condicionan la elección de un triturador de cono	385
8.2.2.6-	Trituradores de cono como equipo secundario	386
8.2.2.7-	Trituradores de cono como equipo terciario	386
8.2.3-	Molinos de impactos	387
8.2.3.1-	Definición	387
8.2.3.2-	Forma de trabajo de los molinos impactores	388
8.2.3.3-	Molinos impactores de eje horizontal	388
8.2.3.4-	Molinos centrífugos	391
8.2.3.5-	Molinos impactores de eje vertical	391
8.2.3.6-	Molinos impactores como equipo de trituración primaria	392
8.2.3.7-	Molinos impactores como equipo de trituración secundaria ...	393
8.2.3.8-	Molinos impactores como equipo de trituración terciaria ...	397
8.2.4-	Molinos de cilindros	401
8.2.4.1-	Definición	401
8.2.4.2-	Forma de trabajo	401
8.2.4.3-	Factores que condicionan la elección de un molino de cilindros	402
8.2.4.4-	Molinos de cilindros como equipo de trituración primaria ...	403
8.2.4.5-	Molinos de cilindros como equipo de trituración secundario ..	404
8.3-	Separación por tamaños	405
8.3.1-	Cribado	406
8.3.1.1-	Superficies de cribado	407
8.3.1.2-	Tipos de cribas	413
8.3.2-	Clasificación	421
8.3.2.1-	Lavado	421
8.3.2.2-	Clasificación hidráulica	427
8.3.2.3-	Espesado y clarificación de aguas	431
8.3.2.4-	Filtrado de los lodos	433
8.4-	Equipos accesorios	434
8.4.1-	Alimentadores	437
8.4.1.1-	Alimentadores de cadenas colgantes	437
8.4.1.2-	Alimentadores de tablero metálico	437
8.4.1.3-	Alimentadores vibrantes	438
8.4.1.4-	Alimentadores de vaivén	439
8.4.1.5-	Alimentadores de banda	439

8.4.1.6- Alimentadores de tornillo	439
8.4.2- Dosificadores	439
8.4.3- Equipos de transporte	440
8.4.3.1- Cintas transportadoras	440
8.4.3.2- Elevadores de cangilones	441
8.4.4- Equipos de detección y separación magnética	442
8.4.5- Equipos de almacenamiento	442
8.4.5.1- Tolvas	443
8.4.5.2- Silos	444
8.4.5.3- Acopios en el suelo	445

CAPÍTULO 9. GESTIÓN DE COSTES, VALORACIÓN ECONÓMICA Y TASACIÓN DE EXPLOTACIONES DE ÁRIDOS

9.1- Gestión de costes	447
9.1.1- El coste como ventaja competitiva	449
9.1.2- Cálculo del coste por unidad producida	452
9.1.3- Factores de coste	455
9.1.3.1- Costes fijos	456
9.1.3.2- Costes variables	457
9.1.3.3- Transporte de ventas	460
9.1.3.4- Administración y gastos generales	460
9.1.3.5- Amortización	461
9.1.4- Costes de gestión de stock	465
9.1.4.1- Logística	466
9.1.4.2- Flexibilidad	467
9.1.4.3- Gestión de stocks	469
9.1.5- Nuevas técnicas de gestión del coste	470
9.1.5.1- Costes ABC	470
9.1.5.2- Mine to Mill (M2M)	474
9.1.6- Reducción de costes en el ámbito de una explotación de áridos ..	476
9.2- Análisis de inversiones y valoración económica de las explotaciones de áridos	478
9.2.1- Análisis de inversiones	479
9.2.1.1- Métodos de análisis de inversiones estáticos	480
9.2.1.2- Métodos de análisis de inversiones dinámicos, VAN y TIR ...	481

9.2.2- Valoración económica de explotaciones mineras	481
9.2.2.1- Método de Hoskold	482
9.2.2.2- Método de Morkill	482
9.2.2.3- Informes técnicos de valoración de activos minerales	484
9.2.2.4- Valoración de acciones	492
9.2.2.5- Análisis del riesgo en proyectos mineros	492
9.3- Tasación	495
9.3.1- Legislación vigente en España	495
9.3.2- Requisitos para realizar una tasación en el ámbito minero	497
9.3.3- Métodos de cálculo del valor de tasación	498
9.3.3.1- Método del coste	498
9.3.3.2- Método de comparación	498
9.3.3.3- Método de actualización de rentas	500
9.3.3.4- Método residual	501
9.3.4- El informe de tasación	501

CAPÍTULO 10. APLICACIONES

10.1- Introducción	505
10.2- Hormigón	507
10.2.1- Introducción	507
10.2.2- Los áridos en el hormigón	508
10.2.2.1- Influencia de los áridos en el hormigón fresco	513
10.2.2.2- Influencia de los áridos en el hormigón endurecido	515
10.2.3- Normativa de los áridos para la fabricación de hormigón	519
10.2.3.1- UNE-EN 12620: 2003+A1: 2009	519
10.2.3.2- UNE-EN 206-1: 2000	522
10.2.3.3- EHE-08	523
10.2.3.4- Los áridos reciclados para hormigón en la normativa española	526
10.2.3.5- Los áridos ligeros en la fabricación de hormigón	529
10.3- Morteros	530
10.3.1- Introducción	530
10.3.2- Tipos de morteros	531
10.3.3- Los áridos en los morteros	532
10.3.3.1- Influencia de los áridos en las propiedades de los morteros	533
10.3.4- Normativa de los áridos para la fabricación de mortero	536
10.3.4.1- Tamaños	537
10.3.4.2- Granulometría	538

10.3.4.3- Requisitos físicos y químicos	540
10.3.4.4- Composición	540
10.3.4.5- Áridos reciclados	540
10.4- Carreteras	540
10.4.1- Introducción	540
10.4.2- Los áridos en la construcción de carreteras	542
10.4.2.1- Características de los áridos para bases y subbases	543
10.4.2.2- Características de los áridos para mezclas bituminosas	544
10.4.3- Normativa de los áridos para la construcción de carreteras	545
10.4.3.1- UNE-EN 13242	546
10.4.3.2- UNE-EN 13043	547
10.4.3.3- PG-3	547
10.4.4- Los áridos reciclados para carreteras en la normativa española ..	558
10.4.4.1- Normas UNE-EN 13242 y 13043	558
10.4.4.2- PG-3	559
10.4.4.3- Norma 6.3-IC	560
10.4.4.4- PG-4	561
10.5- Balasto	565
10.5.1- Introducción	565
10.5.2- Características de los áridos para balasto	565
10.5.3- Normativa de los áridos para balasto y subbalasto	566
10.5.3.1- UNE-EN 13450	566
10.5.3.2- UNE 146147	568
10.5.3.3- PF	569
10.6- Escollera	574
10.6.1- Introducción	574
10.6.2- Características de los áridos para escollera	575
10.6.3- Normativa de los áridos para escollera	577
10.6.3.1- UNE-EN 13383-1	577
10.6.3.2- PG-3	580
10.6.3.4- Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera	581
10.7- Otras aplicaciones	585
10.7.1- Áridos para filtrado y drenaje	585
10.7.2- Áridos para aplicaciones industriales	587
Bibliografía	589