

## CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS	19
INTRODUCCIÓN	21

### PRIMERA PARTE FUNDAMENTOS DE DISEÑO POR MÉTODOS RACIONALES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

<b>Capítulo 1. PAVIMENTOS</b>	<b>25</b>
Índice de capacidad portante de la plataforma	25
Unidades climáticas	26
Clases de capacidad portante de los suelos	26
Tránsito	27
Repartición del tránsito	28
Peso máximo del eje	28
Clases de tránsito	28
Estructuras de pavimentos	30
Plataforma	30
Capa de subrasante	31
Capa de subbase	33
Capas de base	40
Capas de imprimación y de liga	50
Capas de rodadura	50
Tipos particulares de revestimientos	57
Concretos asfálticos clavados	58
Reología del asfalto	58
Propiedades reológicas de los materiales asfálticos	58
Mecánica del medio continuo	59

Clasificación de los cuerpos a partir de su ecuación reológica de estado	61
Líquido de Newton o líquido puramente viscoso	63
Cuerpos viscoelásticos	64
Generalización	65
Flujo y relajación	66
Flujo de los cuerpos viscoelásticos	66
Relación entre los cuerpos viscoelásticos	68
Recubrimiento	70
Modelos reológicos	70
Viscoelasticidad lineal. Función de flujo y relajación	73
Función flujo	74
Deformación en el instante $T$	74
Función relajación	76
Tipos y usos de asfaltos	77
Asfaltos	77
Clasificación y especificaciones	77
Usos y funciones del asfalto	79
Composición química del asfalto	80
Modelo desarrollado por SHRP	84
Características reológicas del asfalto	86
Asfaltos modificados	86
Durabilidad de los asfaltos	99
Especificaciones de los cementos asfálticos	102
Propiedades reológicas y comportamiento en servicio	109
Asfalto espumado	114
Emulsión de asfalto modificado con polímero	118
Especificaciones de utilización	121
Controles	122

---

## **Capítulo 2. GENERALIDADES SOBRE LA FATIGA DE MATERIALES** **123**

Límite de fatiga	126
Dispersión de la duración de la vida	126
Acumulación de daños. La ley de Miner	127
Suelos	128
Leyes de comportamiento mecánico de los suelos	128
Análisis en el laboratorio	128
Ensayos de placa	129
Influencia del desviador para un número de ciclos de carga dado	132
Límites usualmente admitidos de deformación elástica para un suelo en función del número de ciclos	132

Grava no tratada: un material que se comporta como un suelo	134
Aproximación teórica de laboratorio	134
Aproximación empírica <i>in situ</i>	136
Materiales tratados con ligantes hidráulicos	137
Diferentes tipos de ensayos	137
Resultado de ensayos	138
Curvas de esfuerzo deformación - definición del módulo E	140
Ensayos de fatiga	141
Materiales asfálticos	141
Módulo de deformación	142
Influencia de la temperatura y de la frecuencia	143
Ensayos de fatiga	145
Influencia de la temperatura	145
Ensayos de tracción directa	146

---

### **Capítulo 3. DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS** **149**

---

Modelos de la mecánica de calzadas	151
Modelo de Boussinesq	151
Modelos bicapas	154
Modelos multicapas (Burmister, 1943)	160
Aplicación de los modelos de cálculo	164
Estructuras tradicionales	164
Determinación de esfuerzos y deformaciones	166
Determinación de esfuerzos	173
Determinación de ciertas características de materiales de calzadas	179
Suelo soporte	179
Materiales granulares en gravas no tratadas	181
Capas en materiales asfálticos	182
Capas en materiales tratados con ligantes hidráulicos	186
Aplicación numérica a las fórmulas de cálculo	190
Fórmulas de Boussinesq	190
Fórmulas de Westergaard	192
Fórmula de Palmer y Baber	195
Fórmulas de Odemark	195
Comparación con Alize III	195
Conclusiones	196

---

**Capítulo 4. APLICACIÓN DE MODELOS DE CÁLCULO. ALIZE III** **197**


---

Estructuras tradicionales	199
Esquematización de las estructuras tradicionales y su funcionamiento	200

**Capítulo 5. RECOMENDACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS** **207**


---

Materiales asfálticos usados en pavimentación	209
Introducción	209
Mezclas asfálticas en caliente para capas de rodadura y de liga sobre soportes poco deformables	210
Mezclas asfálticas semiabiertas	210
Granulometría	210
Contenido en ligante	211
Propiedades	211
Mezcla asfáltica de mantenimiento en capa delgada	213
Tipos de carpetas de mantenimiento	214
Finos de aporte para mezclas asfálticas de rodadura	215
Mejoradores de adhesividad para mezclas asfálticas	216
Equipos de fabricación	217
Centrales asfálticas	217
Dosificadores de materiales granulares	221
Equipos de extendido y terminado	221
Equipos de compactación	222
Ejecución de los trabajos	222
Reconocimiento del soporte, extendido y nivelación	227

**SEGUNDA PARTE**
**FUNDAMENTOS Y DISEÑO POR MÉTODOS RACIONALES  
DE PAVIMENTOS EN CONCRETO**


---

**CAPÍTULO 1. CALZADAS EN CONCRETO** **237**


---

Introducción	239
Generalidades	240
El concreto: definición y características generales	240
Ventajas y desventajas del concreto como material de calzadas	243

<b>CAPÍTULO 2. CONCEPCIÓN DE CALZADAS EN CONCRETO</b>	<b>251</b>
<hr/>	
Introducción	253
Funcionamiento de las calzadas en concreto	253
Modelos de la mecánica de calzadas	253
Modelo de Westergaard (1926)	253
Modelos multicapas (Burmister, 1943)	255
Modelo de elementos finitos Dalle	257
Modelación del componente de la calzada. Ilustración del modelo de Burmister (programa Alize III del LCPC)	260
Modelación del comportamiento a la fatiga del concreto	260
Valoración del tránsito	262
Valoración de las juntas y las fisuras	262
Esquema del funcionamiento de las calzadas en concreto	267
Dimensionamiento de calzadas en concreto	272
Calzadas con tránsito pesado	272
Calzadas de tránsito bajo	275
Calzada en placa gruesa para tránsitos medios y pesados	276
Concreto reforzado en continuo	276
<b>Capítulo 3. MATERIALES</b>	<b>279</b>
<hr/>	
Introducción	281
Revisión sobre el consumo de materiales	281
Cemento	282
Generalidades	282
Acciones y papeles del cemento dentro de la mezcla	283
Valores límites de las características del cemento	284
Selección del cemento y precauciones particulares	286
Elementos finos de adición	286
Generalidades	286
Origen y producción de cenizas volantes	287
Características y composición química de las cenizas volantes	287
Acción de la ceniza volante y forma de utilización	288
Caso de las cenizas húmedas	288
Agregados	289
Generalidades	289
Características de los granulares y valores límites	289
Selección de los granulares y precauciones particulares	290
Agua	293
Aditivos	293

Generalidades	293
Papel de los aditivos	293
Aceros	294
Retardadores del fraguado de superficie	295
Productos de curado	295
Productos para juntas	295
Formulación del concreto	296
Objetivos	296
Características requeridas para los concretos utilizados en técnicas viales	297
Esquema general para un estudio de composición	298
Aplicación de diferentes concretos	300
Concreto poroso	301
Estudio de la compatibilidad de los constitutivos	302

---

#### **CAPÍTULO 4. EJECUCIÓN DE UNA CALZADA NUEVA** **303**

Generalidades	305
Extendido y colocación entre formaletas fijas	307
Colocación y nivelación de las formaletas	307
Tipos de equipos y límites de utilización	309
Extendido y colocación de concreto con máquinas de formaleta deslizante	310
Introducción	310
Descripción del grupo de extendido	311
Funciones principales de los equipos	313
Función de transferencia y guiado de los equipos de extendido	318
Prueba de conveniencia del extendido	323
Trabajos previos	324
Realización de la fundación del concreto pobre	325
Colocación de armaduras para concreto armado continuo	326
Colocación de los aceros	328
Colocación de pasadores	329
Juntas	331
Papel y momento de ejecución	331
Equipos y técnicas de corte	332
Juntas transversales de retracción y flexión	334
Juntas longitudinales de retroflexión	335
Juntas transversales de construcción	335
Juntas longitudinales de construcción	336
Paradas de obra	336

Reinicio del equipo	337
Llenado de juntas	337
Trabajos de terminado	339
Descascaramiento químico	339
Clavado-desnudo	341
Estriado	341
Curado del concreto	342
Influencia de las condiciones atmosféricas	343
Colocación del concreto en tiempo cálido	343
Colocación del concreto en tiempo de lluvia	344

### TERCERA PARTE

## DISEÑO AVANZADO POR MÉTODOS RACIONALES DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES, CAPAS ASFÁLTICAS GRUESAS, GRAVAS TRATADAS CON LIGANTES HIDRÁULICOS, ESTRUCTURAS MIXTAS, INVERSAS Y DE CONCRETO

### CAPÍTULO 1. EJEMPLOS NUMÉRICOS CON EL USO DE LOS PROGRAMAS CEDEM, ALIZE III, KENPAV Y DEPAV 349

Datos requeridos para el dimensionamiento de estructuras de pavimentos	351
Tránsito	352
Clases de tránsito	352
Tránsito equivalente	353
Valor del Coeficiente de Agresividad Media (CAM)	354
Parámetros de la base de cálculo	354
Datos climáticos y del ambiente	354
Parámetros descriptivos de la plataforma de soporte	355
Suelo soporte	355
Capa de subbase	355
Materiales de las capas de pavimento	356
Metodología para el diseño	360
Predimensionamiento	360
Cálculo de la estructura	360
Verificación de las deformaciones del soporte por fatiga de la estructura	360
Ajuste de los espesores calculados	360
Diseño para las familias de estructuras de calzadas	361
Verificación común de la subrasante y de las capas no ligadas	361
Capas granulares	362

Calzadas flexibles y asfálticas gruesas	362
Pavimentos con capas tratadas con ligantes hidráulicos	371
Calzadas con estructura mixta	382
Calzadas con estructura inversa	391
Calzadas en concreto	402
Pasadores para las calzadas de placas	407
Cálculo de la agresividad del tránsito	411
Agresividad de un eje	411
Agresividad de un vehículo pesado	412
Agresividad del tránsito	412
Ejemplo de cálculo detallado de la agresividad de un tránsito	413
<b>CAPÍTULO 2. CÁLCULO DE CALZADAS DE CONCRETO POR ELEMENTOS FINITOS</b>	<b>417</b>
Características generales de modelos matemáticos	419
Definición de un modelo	419
Representación de las cargas exteriores	419
Representación de estructuras	420
Modelo de Burmister	422
Transformación de Henkel	422
Resolución de $\Delta^2 \varphi = 0$	423
Condiciones límites del problema	423
Caso de una carga puntual	424
Caso de cargas múltiples	425
Modelo de Westergaard	426
Modelo de placa	427
Definición del modelo	427
Representación matemática	428
Formulación variacional	429
Definición del problema aproximado	430
Resolución del problema aproximado	432
Ecuación del modelo de placa	434
Modelo de placa de tres dimensiones	434
Escogencia de la malla	435
Cálculo de la energía potencial de la placa	436
Cálculo de la energía del sustrato	438
Cálculo de la energía del sustrato. Caso general de un masivo estratificado multicapa elástico	441
Eliminación de las variables implícitas	444

**CAPÍTULO 3. ANÁLISIS TEÓRICO DEL BOMBEO EN PLACAS DE CONCRETO 449**

Elementos teóricos de base	451
Expulsión del agua en una sola dirección	452
Expulsión del agua en dos direcciones	453
Presión del agua bajo las placas	454
Erosión por la acción dinámica del agua	455
Estimación de las velocidades de expulsión del agua	457
Balance del desplazamiento de los finos bajo placas	457
Balance de la fuerza de portancia	458
Balance de la ecuación de energía	459

**CAPÍTULO 4. MÉTODO DE CÁLCULO DE REFUERZO CON MATERIALES TRATADOS 461**

Esquematzación de la carga. Intensidad de aplicación	463
Intensidad de aplicación de las cargas $N$	464
Modelación de la antigua calzada	464
Características de los materiales	465
Soporte	466
Materiales granulares GNT	467
Materiales bituminosos	467
Materiales tratados con ligantes hidráulicos	469
Dispersión y riesgo	470
Riesgo	473
Cálculo del espesor	474
Ejemplo de aplicación	475
Dimensionamiento de capas no tratadas	476
Esquematzación de una estructura flexible	476
Ejemplo de aplicación	477
Recomendaciones	478
Primer caso	478
Segundo caso	478
Metodología racional para la estimación de daños en calzadas nuevas y rehabilitadas en pavimento flexible	478
Método recomendado	479
Conocimiento del tránsito	483
Esquematzación estructural del pavimento	485
Criterios de clasificación de un pavimento	487
Conclusiones y desarrollo del método	495

Ejemplos resueltos	496
Ejercicio	502

---

<b>ANEXO A. DISEÑO AVANZADO POR MÉTODOS RACIONALES</b>	<b>503</b>
--	------------

---

Manual del usuario	505
Cedem (Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructura Multicapa)	505
Descripción	505
Parámetros del programa	506
Funcionamiento del programa	510
Kenpav (diseño racional de pavimentos)	510
Instalación	511
Acceso	511
Inicio	511
Cálculo del tránsito	512
Tipo de estructura	513

---

<b>ANEXO B. TABLAS RESUMEN PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS POR MEDIO DE METODOLOGÍA RACIONAL</b>	<b>539</b>
---	------------

---

Características de los materiales	541
Materiales tratados	541
Materiales tratados en comportamiento en fatiga	542
Mezclas asfálticas	544
Gravas asfálticas	544
Capas de rodadura con módulo elevado	545
Materiales tratados con emulsión asfáltica	546
Materiales de concreto	546
Materiales tratados con ligantes hidráulicos	546
Tránsito	548
Determinación del Coeficiente de Agresividad Media (CAM)	548
Determinación del valor del riesgo	549
Valores probabilísticos de la ley normal	549
Solicitaciones admisibles	550
Espesores mínimos tecnológicos	552
Espesor mínimo tecnológico para capas asfálticas	552
Subrasante	553
BIBLIOGRAFÍA	555
ÍNDICES	573