



CURSO/GUÍA PRÁCTICA CARRETERAS 4.0 DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	24
Introducción.	26
PARTE PRIMERA.	28
Marco estratégico de las carreteras 4.0	28
Capítulo 1: Concepto, alcance y objetivos de la carretera 4.0 aplicados a redes viarias	28
1. Carretera convencional vs. carretera 4.0	28
a. Diferencias funcionales	28
b. Diferencias en costes de ciclo de vida	29
c. Impacto en la conservación	30
2. Elementos constitutivos de una carretera 4.0	31
a. Sensores, datos y conectividad	31
b. Integración con centros de control	31
c. Roles del promotor y del concesionario	32
3. Objetivos de la guía práctica internacional.....	33
a. Aplicabilidad España/Latinoamérica	33
b. Homologación sin normas nacionales.....	33
c. Enfoque por resultados	34
4. Ciclo de vida de una carretera 4.0	34
a. Planificación y diseño	34
b. Construcción y puesta en servicio	35
c. Conservación, auditoría y mejora	35
5. Gobernanza y propiedad del dato.....	36
a. Titularidad del dato y acceso	36
b. Seguridad y ciberseguridad	36
c. Escalabilidad de la información	37
6. Tendencias internacionales	37
a. Programas europeos y multilaterales.....	37
b. Experiencias latinoamericanas	37
c. Convergencia con movilidad conectada	38
Capítulo 2: Arquitectura digital y modelo operativo de la carretera 4.0	39
1. Arquitectura de sistemas para carreteras 4.0	39
a. Capas física, de comunicaciones y de aplicación	39
b. Integración con sistemas existentes	40
c. Niveles de servicio del sistema	41
2. Digitalización del activo viario	42
a. Inventario digital	42
b. Etiquetado e identificación única	42
c. Gemelo digital de la infraestructura	43
3. Integración BIM–GIS–SCADA–BMS/DCIM	44
a. Flujos de datos y formatos abiertos	44

b. Interoperabilidad y mantenimiento	44
c. Requisitos de documentación	45
4. Modelos organizativos	45
a. Operación directa	45
b. Concesión y externalización	46
c. Centros de conservación 4.0.....	46
5. Indicadores clave de rendimiento (KPI) iniciales.....	47
a. Disponibilidad	47
b. Seguridad vial	47
c. Coste de conservación	47
6. Roadmap de implantación 4.0	48
a. Diagnóstico inicial.....	48
b. Priorización de inversiones.....	48
c. Pilotos, escalado y mejora continua	49
PARTE SEGUNDA.....	50
DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO PARA CONSERVACIÓN 4.0	50
Capítulo 3: Diseño geométrico, drenaje y elementos funcionales orientados a mantenimiento	50
1. Principios de diseño “mantenible”	50
a. Accesibilidad a elementos	50
b. Minimización de intervenciones	51
c. Seguridad del personal de conservación	52
2. Trazado y secciones tipo en clave 4.0.....	52
a. Control geométrico digital.....	52
b. Adaptación al tráfico pesado.....	53
c. Integración con dispositivos ITS.....	53
3. Drenaje superficial y profundo	54
a. Diseño para lluvias extremas.....	54
b. Control remoto y sensores de nivel	54
c. Mantenimiento preventivo del drenaje	55
4. Taludes, estructuras menores y contenciones	55
a. Sensores de movimiento	55
b. Revisión y alarmas.....	56
c. Integración con el sistema de explotación	56
5. Seguridad vial desde el diseño.....	56
a. Jerarquía viaria y control de accesos.....	56
b. Márgenes, cunetas y obstáculos	57
c. Iluminación y visibilidad.....	57
6. Documentación técnica internacionalizable	57
a. Planos y modelos	57
b. Memorias y pliegos sin referencia normativa local.....	58
c. Especificaciones de control.....	58
Capítulo 4: Dimensionamiento mecánico-empírico con enfoque internacional.....	59
1. Principios del dimensionamiento mecánico-empírico	59

a. Parámetros de tráfico y clima.....	59
b. Módulos de materiales.....	60
c. Niveles de fiabilidad.....	61
2. Adaptación a climas y orografías de España y Latinoamérica	61
a. Zonas tropicales y alta pluviosidad.....	61
b. Zonas andinas y altitud.....	62
c. Zonas áridas y semiáridas	62
3. Consideración del mantenimiento futuro en el dimensionamiento.....	63
a. Sobreestructuración racional	63
b. Capas de refuerzo previstas	63
c. Vida útil ampliada	64
4. Modelos de deterioro y bases de datos	64
a. Recolección sistemática de datos.....	64
b. Curvas de degradación del pavimento	64
c. Integración con PMS.....	65
5. Compatibilidad con materiales reciclados	65
a. Parámetros de diseño.....	65
b. Límites de uso.....	65
c. Evaluaciones previas.....	66
6. Entregables técnicos	66
a. Fichas de diseño	66
b. Cálculos justificativos	66
c. Requisitos de control de calidad.....	66
PARTE TERCERA.....	67
PAVIMENTOS INTELIGENTES Y RECICLADOS IN SITU.....	67
Capítulo 5: Estado del arte en firmes para carreteras 4.0.....	67
1. Tipologías de firmes avanzados	67
a. Asfaltos modificados	67
b. Mezclas templadas y tibias.....	68
c. Hormigón para pavimentos especiales.....	69
2. Pavimentos con sensorización incorporada.....	69
a. Sensores de temperatura y humedad	69
b. Sensores de carga y fatiga	70
c. Integración con plataformas de datos.....	70
3. Pavimentos de baja huella y economía circular	71
a. Uso de RCD y subproductos	71
b. Criterios ambientales	71
c. Etiquetado energético/ambiental	72
4. Gestión del ruido y confort de rodadura	72
a. Capas drenantes y porosas.....	72
b. Requisitos de seguridad	73
c. Medición y seguimiento	73
5. Compatibilidad con ITS y con vehículos conectados	73
a. Marcaje y señalización duradera	73
b. Superficies para lectura óptica.....	74

c. Reposición automatizada	74
6. Control de calidad en obra y post-obra	75
a. Ensayos obligatorios	75
b. Ensayos no destructivos	75
c. Registro digital de resultados	75
Capítulo 6: Tecnologías de reciclado in situ (frío, templado y caliente).....	76
1. Criterios para decidir reciclar in situ.....	76
a. Análisis técnico-económico	76
b. Condiciones de tráfico.....	77
c. Condiciones climáticas.....	77
2. Reciclado en frío in situ	78
a. Equipos y proceso.....	78
b. Estabilización con emulsiones o cemento	78
c. Controles específicos	79
3. Reciclado en caliente in situ	79
a. Maquinaria y configuración.....	79
b. Limitaciones y precauciones	80
c. Integración con capas nuevas.....	80
4. Reciclado con espumas y ligantes alternativos	81
a. Dosificaciones y mezclas.....	81
b. Ensayos de validación.....	81
c. Trazabilidad de materiales.....	82
5. Dimensionamiento de secciones recicladas.....	82
a. Módulos equivalentes	82
b. Factores de corrección	82
c. Verificación de vida útil	83
6. Evaluación económica y ambiental del reciclado	83
a. Comparativa con reconstrucción.....	83
b. Ahorros de coste y plazo	84
c. Reducción de emisiones y transporte.....	84
PARTE CUARTA.	85
CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN BASADA EN DATOS	85
Capítulo 7: Sistemas de gestión de pavimentos y activos viarios (PMS/RAMS)	85
1. Inventario y categorización del activo	85
a. Carreteras, estructuras y elementos de seguridad	85
b. Sistemas ITS asociados	86
c. Jerarquización de la red	87
2. Recogida de datos de estado	87
a. Inspecciones visuales y mecanizadas	87
b. Cámaras embarcadas e IA	88
c. Frecuencia y niveles de inspección	88
3. Modelos de deterioro y predicción	89
a. Pavimentos flexibles	89
b. Pavimentos rígidos	89

c. Elementos auxiliares	90
4. Priorización de intervenciones.....	90
a. Criterios técnicos	90
b. Criterios de seguridad vial	90
c. Criterios presupuestarios.....	91
5. Programación plurianual de conservación.....	91
a. Planes a 3-5 años	91
b. Integración con presupuestos	92
c. Seguimiento de ejecución.....	92
6. Cuadros de mando y reporting	92
a. Indicadores mínimos	92
b. Alarmas y umbrales	93
c. Comunicación con el titular	93
Capítulo 8: Conservación preventiva, predictiva y reactiva en carreteras 4.0.....	94
1. Conservación preventiva	94
a. Actividades periódicas	94
b. Gestión de drenajes y vegetación	95
c. Señalización y balizamiento	95
2. Conservación predictiva basada en datos	96
a. Modelos predictivos	96
b. Sensores y telemetría	96
c. Integración con clima y tráfico	97
3. Conservación reactiva y de emergencia	97
a. Incidencias y siniestros	97
b. Eventos climáticos extremos	98
c. Protocolos de respuesta	98
4. Gestión de contratos y órdenes de trabajo	99
a. Flujo digital de OT.....	99
b. Trazabilidad de materiales y horas.....	99
c. Aprobación y cierre.....	99
5. Ciberseguridad y continuidad de la explotación	100
a. Copias y redundancias.....	100
b. Protección frente a accesos no autorizados.....	100
c. Plan de recuperación	101
6. Evaluación de la eficacia de la conservación.....	101
a. Coste por km conservado	101
b. Niveles de servicio alcanzados	101
c. Lecciones aprendidas.....	102
PARTE QUINTA.	103
CONTRATOS DE CONSERVACIÓN POR RESULTADOS CON SPI/CPI	103
Capítulo 9: Estructura contractual y matriz de riesgos en conservación 4.0	103
1. Modelos de contratación aplicables (PBC/PBMC/CREMA, etc.)	103
a. Alcance y duración.....	103
b. Reparto de riesgos.....	104

c. Roles del contratista y del titular	105
2. Definición de niveles de servicio	105
a. Pavimento.....	105
b. Seguridad vial	106
c. ITS y comunicaciones.....	106
3. Métricas de seguimiento: SPI y CPI aplicados a conservación	107
a. Conceptos de SPI (plazo) y CPI (coste).....	107
b. Adaptación a intervenciones viarias.....	107
c. Relación con pagos	108
4. Estructura de pagos y penalizaciones.....	108
a. Pagos base	108
b. Penalizaciones por nivel de servicio	108
c. Incentivos por desempeño	109
5. Herramientas digitales de control contractual.....	109
a. Plataforma de seguimiento	109
b. Registro fotográfico y georreferenciado	110
c. Informes automáticos.....	110
6. Resolución de controversias y reajustes.....	111
a. Reclamaciones y alegaciones	111
b. Revisión de precios.....	111
c. Terminación anticipada	111
PARTE SEXTA.	113
AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL (RSA) EN ENTORNO DIGITAL.....	113
Capítulo 10: Metodología internacional de RSA y su adaptación a carreteras 4.0.....	113
1. Concepto y finalidad de la RSA	113
a. Diferencia con inspecciones de seguridad	113
b. Fases de aplicación	114
c. Beneficios para el titular	115
2. RSA en las distintas fases del proyecto	115
a. Planificación y anteproyecto	115
b. Proyecto y obra	116
c. Explotación y conservación.....	116
3. Herramientas digitales para RSA.....	117
a. Mobile mapping y LiDAR	117
b. Visión artificial.....	117
c. Integración con gemelo digital	118
4. Identificación y tratamiento de puntos negros.....	118
a. Criterios de priorización	118
b. Medidas correctoras	119
c. Seguimiento de la eficacia	119
5. Integración RSA–contrato de conservación	120
a. Conversión en OT	120
b. Trazabilidad y cierre	120
c. Reporting al titular.....	120
6. Documentación y formatos de informe.....	121

a. Estructura mínima del informe RSA	121
b. Archivos gráficos y geolocalización	121
c. Archivo y consulta histórica	121
PARTE SÉPTIMA.	123
SISTEMAS ITS, CARRETERAS CONECTADAS Y ELECTRIFICACIÓN	123
Capítulo 11: ITS y sensorización aplicada a conservación y seguridad vial	123
1. Elementos ITS de una carretera 4.0.....	123
a. Estaciones meteorológicas	123
b. Cámaras y aforos	124
c. Paneles de mensajería variable	124
2. V2I y plataformas de vehículo conectado.....	125
a. Requisitos de la carretera.....	125
b. Información al vehículo	125
c. Seguridad y privacidad.....	126
3. Pesaje dinámico y control de sobrecargas.....	126
a. Equipos y emplazamiento	126
b. Integración con explotación	127
c. Medidas coercitivas	127
4. Electrificación y nuevas demandas energéticas	127
a. Puntos de carga	127
b. Pavimentos electrificados	128
c. Mantenimiento eléctrico	128
5. Integración ITS–PMS–contrato	129
a. Datos en tiempo real	129
b. Alertas automáticas.....	129
c. Órdenes de trabajo	129
6. Coste y retorno de la inversión ITS.....	130
a. Análisis coste–beneficio	130
b. Modelos de financiación	130
c. Casos de implantación	131
PARTE OCTAVA.	132
SOSTENIBILIDAD, RESILIENCIA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CARRETERAS 4.0	132
Capítulo 12: Sostenibilidad y economía circular aplicadas a conservación viaria	132
1. ACV y TCO de soluciones de pavimento	132
a. Datos necesarios.....	132
b. Comparativas.....	133
c. Decisiones.....	134
2. Uso de materiales reciclados y subproductos.....	134
a. Requisitos técnicos	134
b. Control de procedencia	135
c. Documentación.....	135
3. Drenaje sostenible en carreteras	136
a. Soluciones basadas en la naturaleza	136
b. Mantenimiento	136

c. Integración con RSA	137
4. Huella de carbono de intervenciones de conservación	137
a. Cálculo	137
b. Reducción	137
c. Reporte	138
5. ESG para redes viarias	138
a. Indicadores sociales	138
b. Indicadores de gobernanza	139
c. Comunicación	139
6. Financiación verde y criterios de bancos multilaterales	139
a. Requisitos	139
b. Ejemplos	140
c. Documentación	140
Capítulo 13: Resiliencia frente a eventos extremos y emergencias	141
1. Identificación de riesgos climáticos.....	141
a. Inundaciones	141
b. Deslizamientos	142
c. Temperaturas extremas.....	142
2. Diagnóstico de vulnerabilidad de la red	143
a. Tramos críticos	143
b. Elementos singulares.....	143
c. Niveles de servicio mínimos	144
3. Protocolos de emergencia en carreteras 4.0	144
a. Activación automática	144
b. Comunicación al usuario	145
c. Coordinación con autoridades.....	145
4. Técnicas de reparación rápida y prefabricada	146
a. Pavimentos	146
b. Drenajes	146
c. Señalización	146
5. Reposición y registro digital post-evento	147
a. Órdenes de trabajo.....	147
b. Costes asociados	147
c. Evidencias	147
6. Integración de la resiliencia en PMS y contratos.....	148
a. Priorización	148
b. Ajustes contractuales	148
c. Seguimiento	148
PARTE NOVENA.	149
INTEGRACIÓN Y FUTURO DE LAS CARRETERAS 4.0	149
Capítulo 14: Convergencia con movilidad, logística e infraestructuras inteligentes.....	149
1. Interfaz carretera–puerto–aeropuerto.....	149
a. Flujos de transporte	149
b. Señalización coordinada.....	150

c. Seguridad	150
2. Carreteras y datos urbanos	151
a. Plataformas de ciudad inteligente	151
b. Intercambio de datos	151
c. Casos de uso	152
3. Integración con transporte público y BRT.....	152
a. Prioridad semafórica	152
b. Carriles reservados	152
c. Seguridad de usuarios vulnerables	153
4. Plataformas y estándares internacionales.....	153
a. Recomendaciones PIARC	153
b. Iniciativas europeas.....	154
c. Iniciativas latinoamericanas.....	154
5. Modelos de negocio y servicios sobre la carretera 4.0	155
a. Peajes y tarificación dinámica	155
b. Servicios de información	155
c. Servicios energéticos	155
6. Escenarios futuros.....	156
a. Automatización creciente.....	156
b. IA generativa para conservación	156
c. Gemelos nacionales de infraestructuras	156
Capítulo 15: Gobernanza, financiación y actualización de la red 4.0.....	157
1. Modelos de gobernanza multinivel.....	157
a. Administración titular	157
b. Operadores y concesionarias	158
c. Proveedores tecnológicos.....	158
2. Esquemas de financiación y cofinanciación	159
a. Presupuestos públicos	159
b. PPP/APP.....	159
c. Fondos verdes y multilaterales	160
3. Actualización tecnológica progresiva	160
a. Sustitución de sensores	160
b. Renovación de software	161
c. Control de obsolescencia	161
4. Estrategias de formación y capacitación	161
a. Manuales internos.....	161
b. Formación online.....	162
c. Auditorías de competencias	162
5. Evaluación periódica de la carretera 4.0.....	163
a. Auditorías técnicas	163
b. Auditorías de seguridad vial	163
c. Auditorías de datos.....	163
6. Plan de revisión y mejora de la guía.....	164
a. Frecuencia de actualización.....	164
b. Incorporación de nuevas tecnologías.....	164
c. Extensión a otros modos de transporte	164

PARTE DÉCIMA.165

CHECKLISTS, FORMULARIOS Y MODELOS A TEXTO COMPLETO165

Capítulo 16: Checklists de diseño y dimensionamiento para carreteras 4.0.....165

CHECKLIST Nº 16.01 — Lista de verificación de diseño geométrico mantenible165

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	165
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	166
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	166
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	167
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	167
Sección 6. Costes, importes y garantías	167
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	168
Sección 8. Evidencias y referencias	168

CHECKLIST Nº 16.02 — Lista de verificación de documentación digital (BIM/GIS).....168

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	168
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	169
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	169
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	169
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	169
Sección 6. Costes, importes y garantías	170
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	170
Sección 8. Evidencias y referencias	170

CHECKLIST Nº 16.03 — Integración de sensores e ITS170

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	170
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	171
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	171
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	171
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	171
Sección 6. Costes, importes y garantías	172
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	172
Sección 8. Evidencias y referencias	172

CHECKLIST Nº 16.04 — Compatibilidad con reciclado in situ172

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	173
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	173
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	173
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	173
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	174
Sección 6. Costes, importes y garantías	174
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	174
Sección 8. Evidencias y referencias	174

CHECKLIST Nº 16.05 — Control de calidad en obra para carreteras 4.0175

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	175
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	175
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	175
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	176
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	176
Sección 6. Costes, importes y garantías	176
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	176
Sección 8. Evidencias y referencias	176

CHECKLIST Nº 16.06 — Puesta en servicio 4.0	177
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	177
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	177
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	177
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	178
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	178
Sección 6. Costes, importes y garantías	178
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	178
Sección 8. Evidencias y referencias	178

Capítulo 17: Formularios para contratos de conservación con SPI/CPI.....179

FORMULARIO Nº 17.01 — Ficha de nivel de servicio	179
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	179
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	180
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	180
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	181
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	181
Sección 6. Costes, importes y garantías	181
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	181
Sección 8. Evidencias y referencias	181

FORMULARIO Nº 17.02 — Registro de actuación de conservación.....	182
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	182
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	182
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	183
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	183
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	183
Sección 6. Costes, importes y garantías	183
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	184
Sección 8. Evidencias y referencias	184

FORMULARIO Nº 17.03 — Cálculo de SPI y CPI aplicado a conservación	184
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	184
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	185
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	185
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	185
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	185
Sección 6. Costes, importes y garantías	186
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	186
Sección 8. Evidencias y referencias	186

FORMULARIO Nº 17.04 — Acta de penalización e incentivo	186
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	187
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	187
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	187
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	188
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	188
Sección 6. Costes, importes y garantías	188
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	188
Sección 8. Evidencias y referencias	188

FORMULARIO Nº 17.05 — Reporte mensual digital.....	189
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	189
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	189

Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	189
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	190
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	190
Sección 6. Costes, importes y garantías	190
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	190
Sección 8. Evidencias y referencias	191
FORMULARIO Nº 17.06 — Modelo de cuadro de mando para titular/concesionario	191
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	191
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	191
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	192
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	192
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	192
Sección 6. Costes, importes y garantías	192
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	193
Sección 8. Evidencias y referencias	193
Capítulo 18: Modelos de auditoría de seguridad vial y de inspección periódica	194
FORMULARIO Nº 18.01 — RSA en proyecto	194
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	194
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	195
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	195
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	196
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	196
Sección 6. Costes, importes y garantías	196
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	196
Sección 8. Evidencias y referencias	196
FORMULARIO Nº 18.02 — RSA en explotación.....	197
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	197
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	197
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	198
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	198
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	198
Sección 6. Costes, importes y garantías	198
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	199
Sección 8. Evidencias y referencias	199
FORMULARIO Nº 18.03 — Inspección de pavimentos	199
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	199
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	200
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	200
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	200
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	201
Sección 6. Costes, importes y garantías	201
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	201
Sección 8. Evidencias y referencias	201
FORMULARIO Nº 18.04 — Inspección de drenaje.....	201
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	202
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	202
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	202
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	203
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	203

Sección 6. Costes, importes y garantías	203
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	203
Sección 8. Evidencias y referencias	203
FORMULARIO Nº 18.05 — Acta de cierre de auditoría y traslado a conservación	204
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	204
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	204
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	205
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	205
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	205
Sección 6. Costes, importes y garantías	205
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	206
Sección 8. Evidencias y referencias	206
CHECKLIST Nº 18.06 — Archivo digital y trazabilidad de RSA e inspecciones	206
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	206
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	207
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	207
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	207
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	207
Sección 6. Costes, importes y garantías	208
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	208
Sección 8. Evidencias y referencias	208
Capítulo 19: Herramientas digitales, plantillas editables y bancos de detalles.....	209
FORMULARIO Nº 19.01 — Orden de trabajo en entorno digital (OT 4.0)	209
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	209
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (campos obligatorios).....	210
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	210
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	210
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	210
Sección 6. Costes, importes y garantías	211
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	211
Sección 8. Evidencias y referencias (anexos fotográficos e integración GIS)	211
FORMULARIO Nº 19.02 — Matriz de riesgos para contratos de conservación (SPI/CPI)	211
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	211
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	212
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas (estructura de la matriz)	212
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	212
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	213
Sección 6. Costes, importes y garantías	213
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	213
Sección 8. Evidencias y referencias	213
FORMULARIO Nº 19.03 — Banco de detalles constructivos para reciclados in situ	213
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	214
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	214
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas (secciones tipo y especificaciones)	214
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	215
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	215
Sección 6. Costes, importes y garantías	215
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	215
Sección 8. Evidencias y referencias	215

FORMULARIO Nº 19.04 — Informe de conservación trimestral (estructura editable)	216
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	216
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (estructura)	216
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas (indicadores)	216
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	217
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	217
Sección 6. Costes, importes y garantías	217
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	217
Sección 8. Evidencias y referencias (resumen ejecutivo)	217
FORMULARIO Nº 19.05 — Informe RSA con anexos gráficos (formato digital)	218
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	218
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble	218
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas	218
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	219
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	219
Sección 6. Costes, importes y garantías	219
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	219
Sección 8. Evidencias y referencias (anexos gráficos)	219
CHECKLIST Nº 19.06 — Cuadro resumen de KPIs técnicos, económicos y de seguridad	220
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	220
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (resumen)	220
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas (indicadores con umbrales)	220
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	221
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	221
Sección 6. Costes, importes y garantías	221
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	221
Sección 8. Evidencias y referencias	221
PARTE UNDÉCIMA.	222
PRÁCTICA DE CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL	222
Capítulo 20: Casos prácticos de pavimentos y reciclados in situ	222
1. Reciclado en frío en red secundaria	222
a. Planteamiento	222
b. Ejecución	223
c. Resultados	223
2. Refuerzo de autopista con mezclas templadas	224
a. Condicionantes de tráfico	224
b. Control de calidad	224
c. Coste y plazo	225
3. Recuperación de firme en zona tropical	225
a. Problema de drenaje	225
b. Solución propuesta	226
c. Evaluación	226
4. Carretera rural con sensores de humedad	226
a. Objetivo	226
b. Instalación	227
c. Mantenimiento	227

5. Comparativa reconstrucción vs. reciclado	228
a. Supuestos	228
b. Cálculos	228
c. Conclusiones	229
6. Lecciones aprendidas	229
a. La decisión técnica debe estar soportada por datos	229
b. La integración con la plataforma reduce conflictos	229
c. La economía circular es viable si se controla el origen	230
d. La rapidez de reposición es tan importante como la solución	230
e. La sensorización puntual cambia la gestión	230
f. La comparación sistemática debe formar parte de la guía	230
Capítulo 21: Casos prácticos de contratos con SPI/CPI y RSA digital	231
1. Contrato de conservación por resultados en red metropolitana	231
a. Estructura	231
b. Indicadores	232
c. Liquidación	232
2. Contrato PBMC en país latinoamericano	233
a. Riesgos	233
b. Adaptaciones	233
c. Resultados	234
3. Implantación de SPI/CPI en contrato existente	234
a. Punto de partida	234
b. Ajustes	235
c. Seguimiento	235
4. RSA digital con mobile mapping en zona urbana	236
a. Metodología	236
b. Hallazgos	236
c. Medidas	237
5. Integración RSA-OT en plataforma 4.0	237
a. Flujo de datos	237
b. Roles	237
c. Control	238
6. Lecciones aprendidas y replicabilidad	238
a. Lo que hace viable el SPI/CPI en conservación	238
b. Factores de éxito de la RSA digital	239
c. Replicabilidad	239
Capítulo 22: Casos prácticos de Carreteras 4.0: diseño, pavimentos, conservación y auditoría de seguridad vial.	240
Caso práctico 1. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Implantación piloto de inventario digital y sensorización mínima en una carretera secundaria.	240
Causa del Problema	240
Soluciones Propuestas	241
1. Inventario digital georreferenciado único del tramo piloto	241
2. Sensorización mínima y focalizada en puntos críticos	241
3. Digitalización del ciclo de inspecciones y órdenes de trabajo	242

4. Definición temprana de KPIs y alineamiento con SPI/CPI	243
Consecuencias Previstas	243
Resultados de las Medidas Adoptadas	244
Lecciones Aprendidas	245
Caso práctico 2. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Puesta en marcha de un PMS/RAMS básico para priorizar refuerzos y reciclados en una red provincial España–Latinoamérica.	247
Causa del Problema	247
Soluciones Propuestas	248
1. Estandarización del inventario y jerarquización funcional de la red	248
2. Recogida de datos de estado mediante combinación de auscultación mecanizada + inspección visual asistida por vídeo	248
3. Modelo de priorización técnico–económica con atención a seguridad vial	249
4. Catálogo de soluciones de firme compatibles con el enfoque 4.0	249
5. Integración futura con SPI/CPI y con RSA digital	250
Consecuencias Previstas	250
Resultados de las Medidas Adoptadas	251
Lecciones Aprendidas	252
Caso práctico 3. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Drenaje inteligente y prevención de encharcamientos en corredor viario con lluvias extremas.....	254
Causa del Problema	254
Soluciones Propuestas	255
1. Diagnóstico hidráulico–viario digital del corredor	255
2. Rediseño de elementos de drenaje con criterio "mantenible" 4.0.....	255
3. Sensorización hidráulica y climática mínima, integrada en plataforma de conservación	256
4. Refuerzo estructural puntual del firme en los puntos que permanecen más tiempo mojados	256
5. Integración con auditoría de seguridad vial (RSA) y órdenes de trabajo digitales.....	257
Consecuencias Previstas	257
Resultados de las Medidas Adoptadas	258
Lecciones Aprendidas	259
Caso práctico 4. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Pavimento inteligente con sensorización embebida y gemelo digital en un tramo urbano de alta carga pesada.	261
Causa del Problema	261
Soluciones Propuestas	262
1. Rediseño del paquete de firmes con enfoque mecanístico–empírico y sobreestructuración racional.....	262
2. Sensorización embebida en el pavimento y en el entorno inmediato.....	262
3. Creación de un gemelo digital del tramo y plataforma de datos integrada (BIM/GIS/SCADA ligero).....	263
4. Integración con conservación y con RSA digital.....	264
5. Gestión contractual basada en datos (SPI/CPI + bonificaciones).....	264
Consecuencias Previstas	265
Resultados de las Medidas Adoptadas	266
Lecciones Aprendidas	267
Caso práctico 5. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Reciclado in situ en frío, controlado digitalmente, en una carretera de montaña con presupuesto limitado.	268
Causa del Problema	268
Soluciones Propuestas	269
1. Estudio previo de idoneidad del reciclado in situ y segmentación digital del tramo.....	269

2. Ejecución del reciclado in situ en frío con control de producción y georreferenciación	269
3. Capa de rodadura compatible con conservación y con seguridad vial	270
4. Integración con plataforma de conservación y con indicadores SPI/CPI	270
5. Enlace con auditoría de seguridad vial y elementos de montaña	271
Consecuencias Previstas.....	271
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	272
Lecciones Aprendidas.....	273
Caso práctico 6. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Contrato de conservación por resultados con SPI/CPI y plataforma digital en una red metropolitana.	275
Causa del Problema	275
Soluciones Propuestas.....	276
1. Definición de niveles de servicio (LoS) y catálogo de incidencias alineado con una red 4.0	276
2. Plataforma digital de conservación y móvil mapping para generación de OTs	276
3. Estructura de pago con SPI/CPI y componente de desempeño	277
4. Integración con auditoría de seguridad vial (RSA) y trazabilidad de medidas	277
5. Gobernanza y transición con los contratistas	278
Consecuencias Previstas.....	278
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	279
Lecciones Aprendidas.....	280
Caso práctico 7. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." RSA digital con mobile mapping e integración automática en órdenes de trabajo para corregir puntos negros.	282
Causa del Problema	282
Soluciones Propuestas.....	283
1. Captura masiva de la red con mobile mapping y generación de "escenario auditado"	283
2. Motor de observaciones RSA en plataforma de conservación 4.0	283
3. Conversión automática de observaciones RSA en órdenes de trabajo (OT) con prioridad	284
4. Trazabilidad, cierre con evidencias e integración con seguridad vial y con el PMS.....	284
5. Análisis post-RSA de siniestralidad y retroalimentación	285
Consecuencias Previstas.....	285
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	286
Lecciones Aprendidas.....	287
Caso práctico 8. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Sistema de pesaje dinámico (WIM) y control de sobrecargas integrado con conservación y diseño de firmes.....	289
Causa del Problema	289
Soluciones Propuestas.....	290
1. Ingeniería de emplazamiento y obra civil mínima	290
2. Instalación y calibración del sistema WIM	290
3. Integración de los datos WIM en la plataforma 4.0 de conservación y en el PMS	291
4. Reglas de negocio para conservación, diseño y seguridad vial.....	291
5. Coordinación con autoridades y con contratos de conservación por resultados	292
Consecuencias Previstas.....	292
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	293
Lecciones Aprendidas.....	294
Caso práctico 9. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Gestión invernial predictiva con estaciones meteorológicas de carretera (RWIS), sensor de pavimento y activación automática de órdenes de trabajo.	296
Causa del Problema	296

Soluciones Propuestas.....	297
1. Zonificación invernal y localización de “puntos fríos”	297
2. Despliegue de estaciones RWIS y sensores de pavimento	297
3. Plataforma de alertas y generación automática de órdenes de trabajo	298
4. Adaptación de rutas, fundentes y logística	298
5. Integración con seguridad vial, PMS y reporting	298
Consecuencias Previstas.....	299
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	300
Lecciones Aprendidas.....	301
Caso práctico 10. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Inspección mecanizada con IA embarcada y priorización automática de actuaciones de firme en red secundaria.	302
Causa del Problema.....	302
Soluciones Propuestas.....	303
1. Estandarización del inventario y de las patologías a reconocer	303
2. Despliegue de inspección con cámaras embarcadas e IA ligera	303
3. Clasificación automática y generación de órdenes de trabajo según umbrales	304
4. Alimentación del PMS y programación plurianual.....	304
5. Integración con RSA y contratos de conservación	305
Consecuencias Previstas.....	305
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	306
Lecciones Aprendidas.....	307
Caso práctico 11. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Rediseño geométrico mantenible y drenaje sensorizado en tramo con lluvias extremas y siniestralidad por aquaplaning.	309
Causa del Problema.....	309
Soluciones Propuestas.....	310
1. Rediseño geométrico mantenible del tramo conflictivo.....	310
2. Sistema de drenaje sensorizado (cunetas, pozos y obras de paso)	310
3. Integración con plataforma 4.0 y generación automática de OTs por lluvia extrema.....	311
4. Refuerzo de la seguridad vial: balizamiento, marcas y RSA específica de lluvia	311
5. Ajuste contractual y de mantenimiento preventivo	312
Consecuencias Previstas.....	312
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	313
Lecciones Aprendidas.....	314
Caso práctico 12. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Pavimento inteligente con sensorización embebida y explotación por datos en una vía urbana de alta carga.	316
Causa del Problema.....	316
Soluciones Propuestas.....	317
1. Selección de tramos críticos y diseño de la solución de firme	317
2. Sensorización embebida en el pavimento y en el entorno	317
3. Integración BIM–GIS–plataforma 4.0 con panel de explotación	318
4. Modelo de mantenimiento predictivo basado en umbrales	319
5. Vinculación con contratos de conservación y con RSA	319
Consecuencias Previstas.....	320
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	321
Lecciones Aprendidas.....	322
Caso práctico 13. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Programa piloto de reciclado en frío in situ con control digital de materiales y	

trazabilidad para red logística en clima tropical.	323
Causa del Problema	323
Soluciones Propuestas.....	324
1. Diagnóstico digital previo y selección de tramos reciclables	324
2. Diseño de la mezcla reciclada en frío y del tren de maquinaria	324
3. Ejecución controlada con captura de datos en obra	325
4. Acabado superficial y conexión con PMS/contrato	326
5. Evaluación económica y ambiental en plataforma	326
Consecuencias Previstas.....	327
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	328
Lecciones Aprendidas	329

Caso práctico 14. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Implantación de un contrato de conservación por resultados con SPI/CPI y control digital en una red metropolitana de alta exigencia.....

Causa del Problema.....	331
Soluciones Propuestas.....	332
1. Definición de niveles de servicio (LoS) medibles	332
2. Configuración de la plataforma 4.0 y automatización de OTs	333
3. Modelización económica con plan valorado y curvas de valor ganado	333
4. Incorporación de SPI/CPI al contrato con sistema de penalizaciones e incentivos	334
5. Auditoría técnica y de seguridad vial asociada al contrato	335
Consecuencias Previstas.....	335
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	336
Lecciones Aprendidas	337

Caso práctico 15. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." RSA digital con mobile mapping y conversión automática en órdenes de trabajo para eliminar puntos negros en un corredor periurbano con usuarios vulnerables.....

Causa del Problema.....	339
Soluciones Propuestas.....	340
1. Captura masiva de datos con mobile mapping.....	340
2. Procesamiento y clasificación de hallazgos RSA	340
3. Generación automática de OTs con prioridad y georreferenciación	341
4. Corrección en campo y cierre con evidencia	342
5. Revisión de eficacia y actualización del mapa de riesgo	343
Consecuencias Previstas.....	343
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	344
Lecciones Aprendidas.....	345

Caso práctico 16. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Control de sobrecargas con pesaje dinámico (WIM) integrado en plataforma 4.0 para proteger firmes y priorizar refuerzos.

Causa del Problema.....	347
Soluciones Propuestas.....	348
1. Análisis de puntos de control y selección de la tipología WIM	348
2. Instalación y calibración del sistema WIM con reconocimiento de matrículas	349
3. Integración con la plataforma 4.0 y con el PMS para cálculo automático de EAL	349
4. Conexión con el contrato de conservación y generación de OTs de inspección/refuerzo	350
5. Reporting a partes externas y gobernanza	350
Consecuencias Previstas.....	351
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	352
Lecciones Aprendidas	353

Caso práctico 17. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Integración de puntos de recarga y electrificación de tramo con gestión 4.0 para flotas conectadas.....354

Causa del Problema	354
Soluciones Propuestas.....	355
1. Planificación funcional y selección de emplazamientos	355
2. Despliegue de puntos de recarga y tramo electrificado piloto	355
3. Integración en plataforma 4.0 y gestión energética	356
4. Adaptación del contrato de conservación y de la auditoría de seguridad vial	357
5. Modelo económico y de explotación para flotas.....	357
Consecuencias Previstas.....	358
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	359
Lecciones Aprendidas.....	360

Caso práctico 18. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Recuperación rápida y gestión digital post-evento extremo en carretera costera con drenaje crítico.362

Causa del Problema	362
Soluciones Propuestas.....	363
1. Detección y activación automática del modo "evento"	363
2. Captura de daños y priorización digital.....	363
3. Catálogo de soluciones rápidas y prefabricadas	364
4. Integración con contrato y con seguridad vial	364
5. Informe post-evento y actualización de diseño/drenaje	365
Consecuencias Previstas.....	365
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	366
Lecciones Aprendidas.....	368

Caso práctico 19. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Integración carretera-ciudad inteligente: datos viarios en tiempo real para priorizar conservación y seguridad de usuarios vulnerables.370

Causa del Problema	370
Soluciones Propuestas.....	371
1. Modelo de datos común y pasarela entre plataformas	371
2. Clasificación automática de incidencias por titularidad y prioridad	372
3. Integración de movilidad urbana (peatones, bicis, BRT) en la RSA y en el PMS viario	372
4. Adaptación contractual para pagar/incidir sobre incidencias externas.....	373
5. Cuadro de mando conjunto y reporting político-técnico.....	373
Consecuencias Previstas.....	374
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	375
Lecciones Aprendidas.....	376

Caso práctico 20. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Refuerzo de autopista con mezclas templadas y control digital de calidad bajo tráfico intenso y sin cortes prolongados.377

Causa del Problema	377
Soluciones Propuestas.....	378
1. Diagnóstico mecanizado y definición de ventanas de obra	378
2. Selección de mezcla templada y logística nocturna.....	378
3. Control digital de extendido y compactación	379
4. Integración con PMS/contrato y gestión de penalizaciones	380
5. Evaluación técnico-económica y ambiental.....	381
Consecuencias Previstas.....	381

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	382
Lecciones Aprendidas.....	383

Caso práctico 21. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Reconversión de un contrato tradicional de conservación en un contrato por resultados con SPI/CPI y vinculación directa a RSA digital en una red interurbana de 230 km. .385

Causa del Problema.....	385
Soluciones Propuestas.....	386
1. Definición de niveles de servicio y agrupación de la red	386
2. Digitalización de la emisión y cierre de órdenes de trabajo	387
3. Incorporación de SPI/CPI y fórmula de pago con penalizaciones e incentivos.....	387
4. Integración obligatoria de los hallazgos RSA como fuente de trabajo.....	388
5. Esquema de gobernanza y auditoría técnica externa	389
Consecuencias Previstas.....	389
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	390
Lecciones Aprendidas.....	391

Caso práctico 22. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Certificación de huella de carbono y economía circular en un programa de conservación 4.0 para acceder a financiación verde internacional.393

Causa del Problema.....	393
Soluciones Propuestas.....	394
1. Incorporación de una capa de datos ambientales al PMS/plataforma.....	394
2. Estandarización de soluciones de conservación de baja huella y su registro digital	394
3. Adaptación del contrato para premiar soluciones circulares	395
4. Integración con auditoría de seguridad vial para priorizar puntos con co-beneficio	396
5. Generación automática de informes para bancos multilaterales y financiación verde.....	396
Consecuencias Previstas.....	397
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	398
Lecciones Aprendidas.....	399

Caso práctico 23. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Aviso V2I de obras y peligros temporales para reducir siniestros en conservación nocturna y en tramos urbanos interconectados.401

Causa del Problema.....	401
Soluciones Propuestas.....	402
1. Normalización del "hecho viario" en la plataforma de conservación.....	402
2. Pasarela V2I/I2V con formato internacional.....	402
3. Reglas de publicación y despublicación automática	403
4. Adaptación de contratos y RSA.....	403
5. Evaluación del impacto en siniestralidad y seguridad de brigadas	404
Consecuencias Previstas.....	405
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	406
Lecciones Aprendidas.....	406

Caso práctico 24. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Implantación de pesaje dinámico (WIM) y conexión con conservación, seguridad vial y contratos SPI/CPI para reducir daños por sobrecargas.408

Causa del Problema.....	408
Soluciones Propuestas.....	409
1. Diagnóstico de flujos y selección de emplazamientos	409
2. Instalación de sistemas WIM de alta precisión con clasificación de ejes y matrícula	409
3. Integración en la plataforma 4.0 y vinculación con PMS y RSA	410
4. Adaptación contractual y de explotación (SPI/CPI y órdenes de trabajo)	411

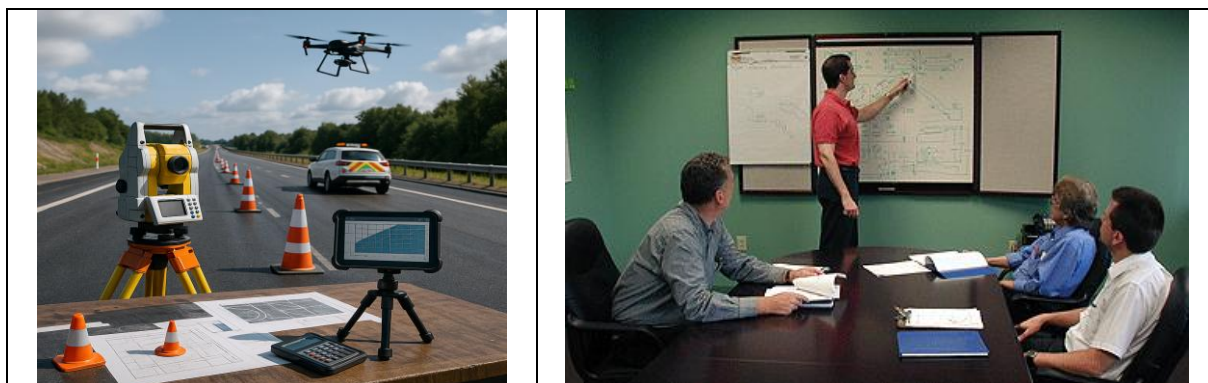


5. Bucle de mejora con autoridades de transporte y operadores	411
Consecuencias Previstas.....	412
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	413
Lecciones Aprendidas.....	413

Caso práctico 25. "CARRETERAS 4.0: DISEÑO, PAVIMENTOS, CONSERVACIÓN Y AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL." Gemelo digital operativo y auditoría continua de una red viaria multinivel (Estado–región–concesionarias) para unificar diseño, conservación, pavimentos y seguridad vial.415

Causa del Problema	415
Soluciones Propuestas.....	416
1. Modelo de datos común y mapa único de la red.....	416
2. Integración vertical de fuentes con reglas de prioridad	416
3. Motores de auditoría continua para conservación, pavimentos y seguridad vial	417
4. Vinculación con contratos y financiación (SPI/CPI, verde, resiliencia).....	418
5. Cuadro de mando ejecutivo y régimen de transparencia técnica	418
Consecuencias Previstas.....	419
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	420
Lecciones Aprendidas.....	421

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Comprender el concepto y alcance operativo de una carretera 4.0 aplicada a redes viarias.
- Diseñar carreteras con criterios de mantenibilidad, seguridad y acceso a elementos.
- Dimensionar firmes con metodología mecanístico-empírica válida para España y Latinoamérica.
- Seleccionar y especificar pavimentos inteligentes y soluciones de reciclado in situ.
- Implantar sistemas de conservación preventiva, predictiva y reactiva basados en datos.
- Configurar y explotar plataformas PMS/RAMS para priorizar intervenciones.
- Redactar y gestionar contratos de conservación por resultados con SPI/CPI.
- Aplicar metodologías internacionales de auditoría de seguridad vial (RSA) en entorno digital.
- Integrar ITS, V2I, pesaje dinámico y electrificación en la explotación viaria.
- Incorporar sostenibilidad, economía circular y resiliencia climática en la conservación de carreteras.
- Utilizar checklists, formularios y plantillas editables para control técnico y contractual.



-
- Analizar y replicar casos prácticos completos de carreteras 4.0 en distintos contextos.

Introducción.



CARRETERAS 4.0: LA NUEVA FRONTERA DE LA CONSERVACIÓN VIARIA INTELIGENTE

En los próximos años las redes viarias que no sean capaces de integrar datos, sensorización y contratos por resultados perderán competitividad, seguridad y financiación. Las administraciones titulares, las concesionarias y las ingenierías se están viendo obligadas a justificar cada euro invertido en conservación, a reducir emisiones y a demostrar, con evidencias digitales, que la carretera es segura. El problema es que la mayoría de manuales siguen anclados en modelos de explotación analógica, enfoques normativos muy locales o soluciones que no dialogan con la realidad de España y Latinoamérica. Esta guía nace precisamente para cubrir ese hueco.

La presente guía práctica sobre “Carreteras 4.0. Diseño, pavimentos, conservación y auditoría de seguridad vial” ofrece un recorrido completo y operativo por todo el ciclo de vida de una carretera inteligente: desde el diseño mantenible y el dimensionamiento mecánico-empírico hasta la conservación basada en datos, los contratos con SPI/CPI y la RSA digital integrada en una plataforma 4.0. Aborda, además, los temas que hoy valoran los decisores: economía circular aplicada al firme, reciclados in situ, integración ITS, pesaje dinámico, resiliencia frente a eventos extremos y documentación técnica internacionalizable sin referencias a normas nacionales. Todo ello con el apoyo de formularios, checklists y casos prácticos que muestran el “cómo se hace” y no solo el “qué hay que hacer”.

Para el profesional del sector esta guía es una palanca de posicionamiento. Le permitirá explicar mejor sus propuestas ante el titular, justificar el coste del plan de conservación con indicadores claros (SPI y CPI), diseñar carreteras más fáciles y seguras de mantener, y, sobre todo, presentar soluciones compatibles con licitaciones internacionales y con la financiación de bancos multilaterales. Un jefe de explotación, un técnico de conservación, un consultor o un promotor público encontrarán aquí argumentos, plantillas y modelos listos para usar que reducen tiempos de preparación, evitan errores repetidos y elevan el nivel técnico de sus ofertas o informes.



Invertir en este conocimiento no es un gasto, es una ventaja competitiva. Quien domine el lenguaje de los niveles de servicio, quien acredite auditorías de seguridad vial digitales, quien sea capaz de demostrar el ahorro por reciclado in situ o por mantenimiento predictivo, estará en mejores condiciones de ganar contratos, de negociar revisiones de precios y de dar respuestas rápidas cuando la red sufra un episodio extremo. Esta guía le da las herramientas para hacerlo desde el primer día.

El sector viario está entrando en una fase en la que ya no basta con conservar, hay que conservar demostrando. Y para demostrar hacen falta datos, modelos y documentos bien hechos. Esta guía le acompaña en ese salto de la carretera tradicional a la carretera 4.0. Lea, adapte las plantillas a su realidad y ponga en práctica los casos. El momento de actualizarse es ahora.