

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de ingeniería



MEGAPROYECTO
REVISIÓN DE MANUALES DE CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS DE SIECA

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Arturo José Castellanos Ipiña
Ingrid Beatriz Lemus Sologaistoa
Marvin Eliud Soto Herrera
Juan Andrés Valdeavellano Wurmser

para optar al grado académico de Licenciado/Licenciada en Ingeniería Civil y

Andrés Enmanuel Gramajo Aguilar
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Industrial:

Guatemala
2011

MEGAPROYECTO

**REVISIÓN DE MANUALES DE CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS DE SIECA**

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



MEGAPROYECTO

**REVISIÓN DE MANUALES DE CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS DE SIECA**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:


Arturo José Castellanos Ipiña
Ingrid Beatriz Lemus Sologaistoa
Marvin Eliud Soto Herrera
Juan Andrés Valdeavellano Wurmser

para optar al grado académico de Licenciado/Licenciada en Ingeniería Civil y

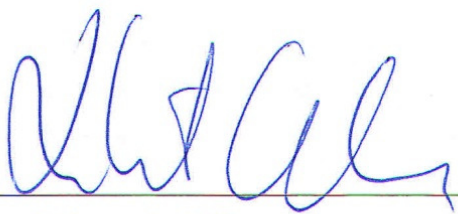
Andrés Enmanuel Gramajo Aguilar
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Industrial:

Guatemala
2011

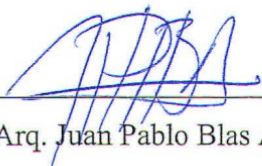
Vo. Bo.:

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas Arias
Asesor

Tribunal examinador:

(f) 
Ing. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Estuardo Sierra

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas Arias

Fecha de Aprobación:

Guatemala, 5 de noviembre de 2011

PREFACIO

La ejecución de proyectos de infraestructura tal y como lo son la construcción, mantenimiento y reparación de carreteras se ha traducido históricamente en sinónimo de desarrollo. Dotadores de un círculo económico virtuoso, la planeación y ejecución de los mismos se encuentra a la orden del día.

Destacamos la colaboración a la Secretaria de Integración Económica Centroamericana SIECA por el aprovisionamiento de los documentos y manuales que son la base de esta investigación.

Agradecemos los comentarios y sugerencias recibidas de nuestros catedráticos, orientados siempre a mejorar el contenido y la calidad de nuestra investigación. Por dotarnos de los conocimientos requeridos para la ejecución del mismo. A nuestros directores de carrera por definir los lineamientos a los cuales debía de ajustarse este proyecto.

Agradecemos a todos los expertos que se mostraron dispuestos resolver nuestras consultas. Al Ing. Amed Bautista por sus valiosos comentarios y sugerencias para el desarrollo del subtema Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías.

Agradecemos especialmente al Arq. Juan Pablo Blas su asesoramiento y orientación durante los trabajos previos de planificación y desarrollo de objetivos, así como en el proceso de redacción final de este documento

Agradecemos a la Universidad del Valle de Guatemala, la cual fungió como ente facilitador a lo largo de este periodo de estudios.

Finalmente, agradecemos a nuestros padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional ha sido una constante a lo largo de mi vida. Porque su ejemplo y dedicación han sido pilar fundamental para la culminación de este proyecto.

Marvin Eliud Soto Herrera

Arturo José Castellanos Ipiña

Ingrid Beatriz Lemus Sologaistoa

Andrés Enmanuel Gramajo Aguilar

Juan Andrés Valdeavellano Wurmser

Noviembre de 2011

Universidad del Valle de Guatemala

CONTENIDO

PREFACIO	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES	xvii
LISTA DE TABLAS.....	xxiii
RESUMEN	xxvii
A. Seguridad en la infraestructura vial	xxvii
B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado.....	xxvii
C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos	xxviii
D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías	xxix
E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.....	xxix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
A. Objetivos generales del megaproyecto	3
B. Objetivos específicos	3
IV. SUBTEMA: Seguridad en la infraestructura vial.....	5
A. INTRODUCCIÓN.....	6
B. REVISIÓN DE MANUALES DE SIECA.....	8

1. Manual centroamericano de seguridad vial (2009)	8
2. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (2004)	15
3. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales (2004).....	21
4. Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes (2010).....	25
5. Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos (2009).....	27
6. Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (2000)	29
C. ANÁLISIS DE MANUALES DE SIECA	44
1. Manual centroamericano de seguridad vial	44
2. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales	45
3. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales	45
4. Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes	46
5. Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos	46
6. Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito	46
7. Otros temas	46
D. AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL	47
1. Definición	47
2. Alcances y objetivos	50
3. Características principales.....	50
4. Etapas de una auditoría de seguridad vial	51
5. Metodología	53

E. SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE SEGURIDAD VIAL.....	60
1. Evaluación de situación actual	61
V. SUBTEMA: Estabilidad por medio de suelo mecánicamente estabilizado	68
A. INTRODUCCIÓN	69
B. REVISIÓN DE MANUALES DE LA SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA (SIECA)	69
1. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales	70
2. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras	76
C. ANALISIS DE MANUALES DE LA SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA (SIECA)	78
D. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES (LIBRO AZUL)	80
E. ESTABILIDAD DE TALUDES	81
1. Fallas en taludes	82
2. Factores que influncian a la estabilidad de taludes	84
3. Análisis de estabilidad de taludes.....	85
F. SUELOS MECÁNICAMENTE ESTABILIZADOS	92
1. Características	92
2. Beneficios	93
3. Desventajas	93
4. Componentes de Suelo Mecánicamente estabilizado	94
5. Criterios de diseño	97

G. EJEMPLO DE DISEÑO DE MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO	104
1. Geometría.....	104
2. Propiedades del suelo.....	105
3. Nivel freático.....	105
4. Cargas Externas.....	106
5. Estabilidad externa	106
6. Estabilidad interna.....	109
7. Calculo de estabilidad global	113
VI. SUBTEMA: Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos en los manuales de construcción de carreteras de SIECA	115
A. INTRODUCCIÓN	116
B. RESUMEN DE CONTENIDO DE LOS MANUALES DE INFRAESTRUCTURA VIAL DE SIECA	117
1. Manual CA de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, 2002	117
2. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales	120
3. Manual centroamericano para el diseño geométrico de las carreteras regionales	122
4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos.....	127
C. ANÁLISIS DE CONTENIDO DE LOS MANUALES DE SIECA	132
1. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras.....	132
2. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales	133
3. Manual centroamericano para el diseño geométrico de las carreteras regionales	133

4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos.....	134
D. PROPUESTA DE TEMAS COMPLEMENTARIOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	135
1. Hidrología	135
2. Hidráulica y drenaje	166
VII. SUBTEMA: Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías.....	189
A.. INTRODUCCIÓN	190
B. RESUMEN DE MANUALES DE SIECA	190
1. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales	190
2. Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgos y seguridad vial	196
3. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales	203
4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos.....	209
5. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras.....	211
C. Observaciones sobre tema ambiental de los manuales de construcción de carreteras de SIECA.....	229
1. Recomendaciones hacia los manuales.....	229
D. DOS TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES	234
1. Utilización de hule reciclado de neumáticos en pavimentos	234
2. Utilización de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado o Reclaimed or Recycled Asphalt Pavement).....	245
VIII. SUBTEMA: Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.	250

A. INTRODUCCIÓN	251
B. Revisión del enfoque de evaluación económica y gestión de riesgo en manuales desarrollados por SIECA.....	252
1. Descripción breve de los manuales	252
2. Observaciones generales de los manuales.....	253
3. Observaciones específicas de los manuales	253
4. Recomendaciones.....	255
C. Metodología para la evaluación económica de un proyecto vial.....	257
1. Generalidades de un proyecto	257
2. Tipologías de proyectos	258
3. Estudios de viabilidad	260
4. Etapas de un proyecto	261
5. El proceso de estudio del proyecto según Nassir(2007)en Proyectos de inversión: formulación y evaluación	262
D. Análisis y evaluación financiera	266
1. Realización de un estudio de ingeniería financiera.	267
E. ASPECTOS INTRODUCTORIOS PARA UN PROYECTO DE CARRETERAS.....	274
1. El ciclo de proyectos	276
2. Las alternativas.	278
3. Proyectos viales.....	278
4. El peso de los estudios de pre-factibilidad	280
5. Metodologías para evaluar proyectos.....	280
6. Identificación y definición de un proyecto de carretera (a nivel de pre factibilidad)	281

7. Detección de necesidades.....	282
8. Análisis de causa y efecto.	283
9. Asignación de peso a los problemas en proyectos viales.....	284
10. Zonas de influencia y sus factores.....	284
11. Participantes en un proyecto vial.	285
12. El estudio de pre factibilidad.....	287
13. La demanda en un proyecto de carreteras.....	287
14. Indicadores de la demanda en proyectos de carreteras.....	288
15. Población objetivo.....	290
16. Estructura de la evaluación económica de los proyectos viales (a nivel de pre factibilidad)	
.....	290
F. Modelo de evaluación de la rentabilidad de proyectos viales.....	292
1. Valor Actual Neto VAN en proyectos de carreteras.....	295
2. Simplificación del modelo.....	399
3. Flujos de los costos y beneficios para el Valor Actual Neto VAN.....	300
G. Metodología de costo-beneficio para proyectos viales.....	301
1. Medición de los costos y beneficios.....	301
2. Metodología para evaluación de los costos y beneficios.....	303
3. Deducción de la expresión del Beneficio social de una nueva infraestructura vial.....	303
4. Deducción de expresión del Beneficio social cuando varía el precio generalizado.....	305
5. Deducción de la expresión del Beneficio social cuando se consideran los impuestos.....	306
6. Deducción de la expresión del Beneficio social cuando se consideran las externalidades.....	308

H. Consolidación de la medición de costes y beneficios	310
I. La demanda: proyecciones en un proyecto vial	312
1. Modelo de predicción de viajes en base al comportamiento histórico	313
2. Modelo de predicción de viajes en base a la elasticidad de la demanda de transporte	313
3. Modelo de generación de viajes	314
4. Modelo de distribución de viajes	314
5. Modelo de asignación de tráfico.	315
6. Modelo de distribución por modo de transporte.....	315
J. Riesgo e incertidumbre	315
1. El riesgo y sus componentes	315
2. Variables sujetas a incertidumbre	316
3. Consideración de la incertidumbre en el modelo de evaluación	316
4. Criterios de decisión al contabilizar las incertidumbres asociadas al proyecto	320
5. Decidir entre dos o más proyectos	324
6. Decisión de postergar un proyecto	326
K. La simulación del proyecto mediante la técnica de Montecarlo	327
L. Complementado el modelo propuesto	338
1. Precios sombra	338
2. Tasas social de descuento.....	339
IX. CONCLUSIONES	341
A. Seguridad en la infraestructura vial	341
B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado.....	341

C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos	342
D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías	343
E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.	343
X. RECOMENDACIONES	345
A. Seguridad en la infraestructura vial	345
B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado	345
C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos	346
D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías	346
E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.	347
XI. BIBLIOGRAFÍA	349
XII. ANEXOS	355
A. Anexo 1: Datos de hechos viales en Guatemala	355
B. Anexo 2: Ficha del estado de la seguridad vial en Guatemala	361
C. Anexo 3: Listado para la Revisión Mecánica de Vehículos	362
D. Anexo 4: Imágenes con detalles de señalización	365
E. Anexo 5: Lista de chequeo para auditoría vial	369
F. Anexo 6: Lista de chequeo para auditoría vial	375
G. Anexo 7: Lista de chequeo para auditoría vial	384

H..Anexo8: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales	405
I. Anexo9: Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras – Capitulo C.8 al C.12	409
J. Anexo10: Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras – Capitulo C.14.....	415
K..Anexo 11:Entrevista con Ing. Amed Bautista	419
XIII. GLOSARIO.....	422

LISTA DE ILUSTRACIONES

SUBTEMA: Estabilidad por medio de suelo mecánicamente estabilizado

Ilustración 1: Desprendimientos	82
Ilustración 2: Derrumbes	83
Ilustración 3: Derrumbe rotacional.....	83
Ilustración 4: Modo de falla	85
Ilustración 5: Plano de falla en talud	86
Ilustración 6: Modo de falla	86
Ilustración 7: Cuña de falla en talud.....	87
Ilustración 8: Localización de puntos para plano de falla	87
Ilustración 9: Modo de falla	88
Ilustración 10: Falla rotacional en talud	88
Ilustración 11: Análisis estático de falla.....	89
Ilustración 12: Equilibrio de fuerzas en dovela	89
Ilustración 13: Análisis estático de falla.....	90
Ilustración 14: Equilibrio de fuerzas en dovela	90
Ilustración 15: Análisis estático de falla.....	91
Ilustración 16: Equilibrio de fuerzas en dovela	91
Ilustración 17: Muro mecánicamente estabilizado	93
Ilustración 18: Componentes de muro mecánicamente estabilizado	94
Ilustración 19: Falla por deslizamiento	99

Ilustración 20: Falla por volcamiento	100
Ilustración 21: Falla por capacidad portante.....	100
Ilustración 22: Falla por estabilidad global	101
Ilustración 23: Estabilidad interna de muro mecánicamente estabilizado	105
Ilustración 24: Análisis de estabilidad global para muro mecánicamente estabilizado	114
Ilustración 25: Resultados de análisis de falla global	114
<p style="text-align: center;">SUBTEMA: Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos en los manuales de construcción de carreteras de SIECA</p>	
Ilustración 26: Secciones típicas de bordillos-cunetas en carreteras.	124
Ilustración 27: Sección tipo en recta de arterias principales con mediana.....	126
Ilustración 28: Geometría de una base permeable	131
Ilustración 29: Precipitación media en la cuenca	136
Ilustración 30: Delimitación de cuenca topográfica o superficial y cuenca geológica o de aguas subterráneas.....	138
Ilustración 31: Hidrograma del flujo	149
Ilustración 32: Escorrentía proceso básico	150
Ilustración 33: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.	152
Ilustración 34: Ejemplo curvas intensidad –duración- frecuencia para lluvia máxima.	155
Ilustración 35: Ejemplo hietograma de diseño	156
Ilustración 36: Variable en el método	161
Ilustración 37: Ejemplo hietograma de precipitación efectiva	161
Ilustración 38: Sección típica de cuneta triangular.....	167
Ilustración 39: Detalle de cuneta o zanja de coronación	172

Ilustración 40: Detalle de cuneta o zanja de drenaje	172
Ilustración 41: Detalle de cuneta de banqueta	173
Ilustración 42: Ejemplo de sumidero de rejilla.....	174
Ilustración 43: Ejemplo de sumidero horizontal.....	175
Ilustración 44: Ejemplo sumidero Mixto.....	176
Ilustración 45: Localizaciones correctas de alcantarillas.....	179
Ilustración 46: Se presenta el perfil de la alcantarilla con control de entrada	180
Ilustración 47: Portal de mampostería.....	181
Ilustración 48: Altura de carga y capacidad para tubos de concreto con control de entrada (sistema métrico) adaptado de FHWA HDS 5 1998.....	183
Ilustración 49: Altura de carga y capacidad para alcantaría de tubo de metal corrugado con control de entrada (sistema métrico) adaptado de FHWA HDS 5 1998.....	184
Ilustración 50: Altura de la carga y capacidad para cajas de concreto con control de entrada (sistema métrico) (adaptado de FHWA, HDS 5 1998).....	185
Ilustración 51: Altura de la carga y capacidad para alcantaría de Ribloc con control de entrada (Sistema métrico). Guía Hidráulica Nicaragua.....	186
Ilustración 52: Altura de carga y capacidad para cajas de mampostería con control de entrada (sistema métrico). Guía Hidráulica Nicaragua.	187
Ilustración 53: Altura de carga y capacidad para alcantaría semicircular de mampostería con control de entrada (sistema métrico). Guía Hidráulica Nicaragua.....	188
SUBTEMA: Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías	
Ilustración 54: Adaptación de los alineamientos vertical y horizontal para reducir efectos de ruido.....	206
Ilustración 55: Tipos de rehabilitaciones.....	210
Ilustración 56: Efecto del asfalto modificado con polímeros sobre la rigidez y la temperatura	235
Ilustración 57: Deformación del asfalto al abalndarse por temperatura mayor a 60°C	236

Ilustración 58: Fractura en el asfalto a temperaturas menos a 0°C.....	236
Ilustración 59: Muestra asfáltica convencional a 60°C	236
Ilustración 60: Muestra asfáltica modificada con polímeros a 60°C	237
Ilustración 61: Temperatura de desempeño de pavimentos.....	237
Ilustración 62: Ahuellamiento en una carretera.....	240
Ilustración 63: Deformación permanente según porcentaje de hule en pavimentos reciclados	241
SUBTEMA: Evaluación económica de proyectos de carreteras.	
Ilustración 64: Esquematación de la tipología de un proyecto	259
Ilustración 65: Esquematación de los diversos estudios de viabilidad de los proyectos.....	260
Ilustración 66: Esquematación de las diversas etapas de un proyecto	262
Ilustración 67: Pasos para la toma de decisiones.....	268
Ilustración 68: Representación de un flujo de efectivo por anualidades	270
Ilustración 69: Descomposición de un flujo de efectivo de gradiente G	272
Ilustración 70: Representación de un flujo de efectivo de gradiente geométrico	273
Ilustración 71: Etapas de un ciclo de proyecto PARA proyectos viales	277
Ilustración 72: Círculo Virtuoso de los llamados proyectos productivos en la construcción de carreteras	279
Ilustración 73: Comportamiento del flujo de efectivo de beneficios y costos sociales de un proyecto vial grafica tomada de Evaluación económica de proyectos de transporte.	295
Ilustración 74: Relación entre VAN social y VAN financiero. Gráfica tomada de Evaluación económica de proyectos de transporte. G.Mendoza, O. Cruz, J.Campos	298
Ilustración 75: Beneficios social de una nueva infraestructura	304
Ilustración 76: Beneficio social cuando varia el precio generalizado.....	305

Ilustración 77: Beneficio social de una nueva infraestructura vial con impuestos	306
Ilustración 78: Beneficio social cuando varia el precio generalizado con impuestos.....	307
Ilustración 79: social de una nueva infraestructura vial con impuestos y externalidades.....	308
Ilustración 80: Beneficio social cuando varia el precio generalizado con impuestos y externalidades.....	309
Ilustración 81: Rechazar un proyecto siempre	322
Ilustración 82: Aceptar un proyecto condicionalmente	322
Ilustración 83: Aceptar, rechazar o revisar un proyecto	323
Ilustración 84: Caso en el que un proyecto es preferible a otro.....	324
Ilustración 85: Caso para el cual la elección del VAN dependerá del resultado financiero	325
Ilustración 86: Caso para el cual la elección del VAN dependerá del resultado financiero	326
Ilustración 87: Vista General del programa Crystal Ball en ejecución.....	330
Ilustración 88: Distribución de probabilidades disponibles para la simulación.....	330
Ilustración 89: Celdas con assumption definida	331
Ilustración 90: Selección del número de iteraciones	332
Ilustración 91: Vista al seleccionar la variable sobre la cual se aplicará el forecast.....	332
Ilustración 92: Selección de preferencias	333
Ilustración 93: Cuadro de dialogo indicando que la simulación se ha completado	333
Ilustración 94: El VAN y el comportamiento con su probabilidad asociada de ocurrencia	334
Ilustración 95: Análisis del histograma del VAN (% probabilidad de experimentar un $VAN > 0$)	335
Ilustración 96: Gráfica que muestra las tendencias a % de certeza asociados	335
Ilustración 97: Gráfica de superposición para distintos VAN asociados al proyecto el respectivo ajuste de distribución.....	336

Ilustración 98: Gráfica de sensibilidad para las distintas variables de predicción (para este ejemplo: VAN) y las variables de suposición (para este ejemplo: beneficios, costos y demanda)	336
Ilustración 99: Ilustración demostrativa del reporte generado por Crystal Ball (este se extiende varias paginas más mostrando un completo análisis de toda la simulación)	337
Ilustración 100: Estadísticas de la simulación para la variable definida como forecast (VAN)	337

LISTA DE TABLAS

SUBTEMA: Seguridad en la infraestructura vial

Tabla 1:Entidades de gobierno responsables de la seguridad vial.....	10
Tabla 2: Código de color en señalización.....	32
Tabla 3: Clasificación de las señales verticales de reglamentación.....	33
Tabla 4: Clasificación de señales verticales de prevención.....	34
Tabla 5: Clasificación de señales verticales de información de identificación.....	34
Tabla 6: Clasificación de señales verticales de información de destino.....	35
Tabla 7: Clasificación de señales verticales de información de servicios y turísticas.....	35
Tabla 8: Clasificación de señales verticales de información de áreas silvestres y recreativas.....	36
Tabla 9: Clasificación de señales verticales de información de áreas silvestres y recreativas.....	36
Tabla 10: Clasificación de señales verticales de información general.....	37
Tabla 11: Clasificación de demarcación de pavimentos y bordes de pavimentos.....	38
Tabla 12: Significado del color de las líneas para demarcar zonas de estacionamiento.....	39
Tabla 13: Diferencias entre auditorías de seguridad vial y revisiones de seguridad tradicionales.....	48
Tabla 14: Qué son y qué no son las auditorías de seguridad vial.....	49
Tabla 15: Criterios a tomar en cuenta en auditorías de seguridad vial.....	54
Tabla 16: Preguntas para ayudar en la evaluación de involucrados.....	62
Tabla 17: Principales fuentes de información de hechos viales.....	63
Tabla 18: Preguntas para ayudar a la evaluación de los sistemas de información.....	65
Tabla 19: Preguntas para ayudar a la evaluación de la calidad de la información.....	65

Tabla 20: Preguntas para ayudar al análisis del entorno político	67
SUBTEMA: Estabilidad por medio de suelo mecánicamente estabilizado	
Tabla 21: composición de concreto para estructuras menores.	71
Tabla 22: Requisitos físicos para geotextiles de control permanente de erosión.....	72
Tabla 23: Características de suelo de relleno y de fundación.....	73
Tabla 24: Pendientes típicas de cortes en suelos	77
Tabla 25: Pendientes recomendadas para taludes de relleno de diversos materiales.....	77
Tabla 26: Tipo de suelo para relleno reforzado	95
Tabla 27: Granulometría para relleno reforzado	95
Tabla 28: Granulometría de grava para filtro	97
Tabla 29: Factores de seguridad para análisis externo	99
Tabla 30: Factores de seguridad para análisis externo	102
Tabla 31: Esfurszos a tensión de geomallas seleccionadas.	110
Tabla 32: Tensión máxima y factor de seguridad para cada nivel de refuerzo.....	110
Tabla 33: Longitud de empotramiento y factor de seguridad de tiramiento	112
Tabla 34: Tensión máxima en conexión y factor de seguridad	113
SUBTEMA: Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos en los manuales de construcción de carreteras de SIECA	
Tabla 35: Anchos de medianas recomendables para las carreteras de la red vial regional.....	125
Tabla 36: Pendientes máximas y mínimas por tipo de carretera.	126
Tabla 37: Tiempos de drenaje para capas granulares	129
Tabla 38: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx).....	129
Tabla 39: Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos (Cd).....	130

Tabla 40: Escalas recomendadas para interpretación de planos.	137
Tabla 41: Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones con pendientes.	139
Tabla 42: Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones llanas.	140
Tabla 43: Periodo de retorno (T) para valores de riesgo admisible y vida útil de la obra.	152
Tabla 44: Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.	153
Tabla 45: Factores para serie parcial de duración	154
Tabla 46: Coeficientes de escorrentía método racional	158
Tabla 47: Ecuaciones que definen los factores de la fórmula general	160
Tabla 48: Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.	162
Tabla 49: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s)	163
Tabla 50: Velocidad máxima del agua	166
Tabla 51: Inclinationes máximas del talud interior de la cuneta (V:H)	167
Tabla 52: Valores de K más usados.	168
Tabla 53: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n).....	169
Tabla 54: Dimensiones mínimas	170
Tabla 55: Descarga de portal de mampostería en m ³ /s dimensiones según figura anterior.	181
SUBTEMA: Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías	
Tabla 56. Medidas de mitigación de impactos ambientales	198
Tabla 57. Pendientes típicas de corte según tipo de suelos	223
Tabla 58. Pendientes recomendadas para taludes de relleno de diversos materiales.....	224
Tabla 59. Costos registrados en la rehabilitación de un pavimento en California.....	242

Tabla 60. Especificaciones de asfalto modificado Tipo II.....	244
SUBTEMA: Evaluación económica de proyectos de carreteras.	
Tabla 61: Tipo de evaluación a desarrollar según el tipo de proyecto vial.....	281
Tabla 62: Estructura del proceso de evaluación de proyectos viales.....	291
Tabla 63: Continuación del proceso de evaluación de un proyecto vial.....	292
Tabla 64 Tipos de distribución probabilística más utilizados para el análisis de riesgo (uniformes y discretas)	318
Tabla 65: Distribuciones de probabilidad adicionales.....	319
Tabla 66: Construcción de flujo de caja del proyecto (valores con fines explicativos).....	329

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión general de los manuales sobre construcción de carreteras de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Para cumplir con esto, se eligieron cinco temas sobre los cuales enfocar la revisión, siendo estos los detallados a continuación:

A. Seguridad en la infraestructura vial

La seguridad vial toma cada vez más importancia por la gran cantidad de vidas que se pierden en hechos viales. Aunque entre las causas de estos el mayor porcentaje se debe a los usuarios o conductores, existe un alto porcentaje que se debe a la infraestructura de la carretera, siendo mayor en países en vías de desarrollo.

La Secretaría de Integración Económica Centroamericana posee una serie de manuales enfocados a la construcción y mantenimiento de carreteras, para mejorar e integrar la economía a través del sistema de transporte regional. Entre estos, se tiene presente el tema de la seguridad vial.

Tomando estas consideraciones, se realiza una revisión de los manuales de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana sobre lo referente a la seguridad vial, para luego analizarlos y proponer mejoras a los mismos.

Se revisaron seis manuales (manual centroamericano de seguridad vial, manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales, manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos, manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito), unos con mayor información referente a la seguridad vial que otros, y se determinan algunas recomendaciones para mejorar la seguridad vial de la región centroamericana.

Entre las recomendaciones finales se encuentra la creación de una Normativa Vial, que funcione como estructura para una serie de manuales enfocados a los temas de gestión de riesgo y seguridad vial. También se recomienda la elaboración de otros manuales, que tomen en cuenta temas para supervisión y manejo de información, en específico las auditorías de seguridad vial y los sistemas de información.

B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado

En la primera parte se revisan los manuales de SIECA que tienen información sobre estabilidad de taludes y suelos mecánicamente estabilizados. Los manuales que tienen esta información es el manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, que contiene todas las

especificaciones para la construcción de muros mecánicamente estabilizados, y el Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y mantenimiento de carreteras, que incluye especificaciones de geometría recomendada para garantizar que un talud se encuentre en condiciones estables.

Luego de conocer toda la información presentada en los manuales de SIECA, se realiza un análisis sobre los puntos que pueden ampliarse para ofrecer normas recomendaciones más específicas y detalladas, tomando en cuenta los nuevos avances tecnológicos que actualmente se encuentran en uso en Guatemala.

En las construcciones públicas de infraestructura vial de Guatemala el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda se basa en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes (Libro Azul), documento basado en las normas de American Association of State Highways and Transportation Officials. Debido a la importancia que este documento tiene en el país, se hace un análisis dichas especificaciones.

Después de conocer y analizar las normas centroamericanas, se realiza una investigación sobre el tema importante de estabilidad de taludes y suelo mecánicamente estabilizado. El propósito de esta investigación es identificar la información que puede incluirse en las normas propuestas por SIECA.

El primer tema investigado es la estabilidad de taludes, el cual se enfoca en identificar las distintas formas en que este puede fallar, además se estudian varios tipos de análisis de estabilidad condiciones variables. En la construcción de carreteras es frecuente que se encuentre con obstáculos que reducen el espacio para crear un talud estable. Es por esta razón que se debe recurrir a soluciones que permitan incrementar la pendiente del talud sin crear riesgos a la seguridad de los usuarios de las carreteras. Los muros de contención son una solución común a utilizar.

Por lo tanto, el segundo tema investigado es el diseño y construcción de muros mecánicamente estabilizados. Los métodos de diseño y construcción están basado mayormente en una publicación de Federal Highway Administration llamada Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guideline, documento avalado por el departamento de tránsito de Los Estados Unidos de América. Por último se incluye un ejemplo ilustrativo de cómo diseñar un muro mecánicamente estabilizado poniendo en uso los criterios mencionados anteriormente.

C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos

El trabajo se divide básicamente en dos partes: La primera está relacionada a la revisión de los manuales como tal, y la segunda que trata de la recomendación de contenido con base al análisis, para ampliación y mejoras de los manuales. Los manuales estudiados son: Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras; Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales; Manual Centroamericano de

Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales; Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Se describe el panorama actual de la consideración de las variables hidrológicas e hidráulicas.

De acuerdo a los resultados del análisis se cuestiona el tema del diseño integral para luego generar una propuesta que complemente lo existente en los manuales. Los temas propuestos parten desde cómo estimar un caudal de diseño mediante múltiples procedimientos a partir de información hidrométrica. Posteriormente se considera el aspecto hidráulico desde la perspectiva de cálculo de drenajes, desarrollando los drenajes de tipo longitudinal de superficie, y el drenaje transversal.

D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías

La destrucción de los recursos naturales, la creciente contaminación y la falta de soluciones hacen necesario optar por prácticas ingenieriles sostenibles con el ambiente para tener un aprovechamiento adecuado de los recursos naturales de nuestro país. La construcción de una carretera trae consigo muchos aspectos positivos como la facilidad de comunicación, mejoras económicas a través del comercio, transporte más rápido, entre otras. Sin embargo, la misma también implica un impacto negativo en el ambiente si no se construye de una manera sostenible por lo que resulta importante hacer uso de manuales que guíen a los constructores en una forma más adecuada en la realización de estas obras.

Se debe optar por un proyecto de construcción de una carretera en donde se tomen en cuenta factores ambientales durante la obtención de los recursos y materiales, construcción y finalmente finalización de la obra. Según lo antes expuesto y con la finalidad de ampliar investigaciones sobre el impacto ambiental de construcciones viales en Guatemala, se procedió a realizar una investigación detallada sobre los manuales de construcción de carreteras de la organización SIECA para evaluar qué partes de los manuales toma en cuenta aspectos ambientales. En esta tesis primero se expone una revisión y análisis de los temas y menciones ambientales existentes en los manuales de SIECA, se hace una recopilación sobre todos estos temas en un único documento, y luego se hace una complementación sobre temas no mencionados apoyándose en manuales existentes de otras organizaciones, tesis, entre otros.

E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.

La siguiente investigación pretende analizar, y definir cuál es el enfoque adecuado con el que se ha de tratar la evaluación y formulación económica en proyectos de infraestructura vial. En este documento se

presenta una metodología que conduzca a la correcta toma de decisiones al momento de la evaluación de los proyectos viales. Todo lo anterior orientado de completar y redefinir algunos aspectos ya tratados en manuales desarrollados por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA. Para ello se pretende efectuar una revisión de los siguientes 3 manuales de dicha institución: El primer documento titulado como Identificación y análisis de riesgo legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones. El segundo de ellos bajo el nombre de Financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación publico-privadas. Y un tercer documento titulado como Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras.

A partir de este análisis se pretende desarrollar una serie de especificaciones que permitan a cualquier individuo que consulte el presente trabajo de investigación una serie de lineamientos que conduzcan a efectuar la correcta formulación y evaluación económica de un proyecto de construcción de carreteras. Para que estos lineamientos sean consistentes se pretende fundamentar el análisis económico en cuatro pilares que hasta hoy en día tienden a verse de manera independiente, sin embargo, la correcta ejecución de estos cuatro aspectos dará como resultado una evaluación consistente del proyecto. Estos cuatro aspectos son: el análisis de beneficios y costos y el análisis de la demanda del proyecto, análisis financiero o de rentabilidad, análisis de riesgo e incertidumbre, por último se abordarán los análisis previos mediante un concepto hasta hoy no se acostumbra a incluir en un análisis de esta naturaleza, pero de grandes alcances como lo es la técnica de simulación de Montecarlo.

I. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de carreteras son parte fundamental de las actividades de infraestructura de un país. Las carreteras se han convertido en sinónimo de desarrollo, y es que éstas se extienden a lo largo y ancho de un país facilitando la comunicación entre países, pueblos y ciudades, promoviendo el intercambio de bienes y servicios promoviendo y fortaleciendo el desarrollo de las naciones.

La humanidad se ve beneficiada socioeconómicamente con la construcción de carreteras, y estos beneficios se traducen en reducción de los costos de transporte, mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la generación de nuevos mercados económicos, mayor acceso a la atención médica y otros servicios sociales y el fortalecimiento de las economías locales.

Sin embargo, las vías terrestres pueden producir también complejos impactos negativos al no ser bien planificados: mayor demanda de combustibles para los motores; accidentes con los medios no motorizados de transporte o el reemplazo de éstos; mayor contaminación del aire y ruido y contaminación del agua debido a los derrames o a la acumulación de contaminantes en la superficie de los caminos.

Es un hecho que el tráfico vehicular se ha incrementado y probablemente esta tendencia continuará. Mayores índices de actividad vehicular implican mayores congestionamientos, mayor tasa de emisión de gases, mayor polución y de forma proporcional un incremento en las tasas de incidentes viales. Sin embargo, la problemática no termina allí, ya que cada una de estas situaciones acarrea una serie de externalidades negativas que se magnifican aún más.

Guatemala al igual que el resto de países que comprenden a la región centroamericana, se encuentra situada en una zona de naturaleza problemática que se acentúa durante la época lluviosa. Las carreteras padecen de dichas inclemencias y los derrumbes, obstaculizaciones, inundaciones y drenajes saturados se encuentran a la orden del día.

Por todo lo anterior, surge la inquietud de cómo afrontar esa serie de problemas que son asociados a la construcción de carreteras. Hasta el día de hoy la Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, ha buscado unificar esfuerzos entre los países de la región del istmo a fin de poder encarar de forma sustancial las problemáticas que se presentan debido a la implementación de este tipo de proyectos. Para ello ha buscado homogenizar los procedimientos para la evaluación, construcción y mantenimiento de carreteras. Lejos de tener dominadas las problemáticas asociadas a las carreteras, y aunque hay aún mucho camino por recorrer, cualquier avance se verá traducido en beneficios para el desarrollo del país.

Dado lo anterior, este trabajo pretende desarrollar una extensa revisión de dichos manuales con el fin de adoptar mejores prácticas y estrategias al abordar proyectos de construcción de carreteras.

II. JUSTIFICACIÓN

El sistema vial en Guatemala forma parte esencial del desarrollo del país; con una red adecuada y debidamente ordenada se propicia la comunicación desde personas individuales hasta el comercio entre países. De aquí que se debe hacer un análisis minucioso sobre proyectos de mejoramiento vial tomando en cuenta la posibilidad de realizar una construcción de una carretera.

En Guatemala no se cuenta con un solo manual al que se pueda recurrir como guía única para la construcción de carreteras; la información sobre construcción de carreteras está esparcida en varios libros, manuales, etc. De aquí que quienes se dedican a la construcción de carreteras se basan en diferentes normas según el manual que cada empresa escoja. Es por esto que se considera necesario el análisis de los manuales sobre construcción de carreteras de una organización específica, en este caso SIECA, y luego complementar la información faltante con información de otros manuales, tesis o cualquier otro tipo de estudio sobre construcción de carreteras tomando en consideración el contexto guatemalteco.

Es necesaria la implementación y uso de manuales que abarquen los temas básicos en cuanto a la construcción de carreteras, ya que con un cuidado constante de las calles principales (arterias) y secundarias (colectoras y locales) se da un flujo cómodo para que los conductores las transiten, se desarrolla la comunicación, comercio y transporte entre países y se cerciora que la construcción de carreteras se realice según un protocolo estudiado y analizado.

Tomando esto en consideración, la siguiente revisión y análisis se detalla sobre cinco temas de impacto para las carreteras, siendo estos la seguridad, geotecnia, hidráulica, ambiente y finanzas.

III.OBJETIVOS

A. Objetivos generales del megaproyecto

- Realizar una revisión general de los manuales sobre construcción de carreteras existentes en SIECA.
- Proponer manuales complementarios sobre los temas faltantes en los manuales sobre construcción de carreteras de SIECA.

B. Objetivos específicos

- Analizar los temas sobre seguridad en infraestructura vial que se tratan en los manuales sobre construcción de carreteras de SIECA.
- Complementar los manuales existentes de SIECA con temas no investigados de la seguridad en infraestructura vial, realizando propuestas concretas de nuevos temas y proyectos a realizar.
- Analizar qué temas de estabilidad de taludes y suelos mecánicamente estabilizados se tratan en los manuales sobre construcción, diseño y mantenimiento de carreteras de SIECA.
- Complementar los manuales existentes de SIECA con temas no investigados de estabilidad de taludes y suelos mecánicamente estabilizados.
- Proponer recomendaciones para normas sobre la estabilidad de taludes y suelos mecánicamente estabilizados en el diseño y construcción de carreteras.
- Dar a conocer las fuentes más utilizadas en Guatemala y países tropicales para la construcción de carreteras.
- Extraer la información relacionada a temas hidrológicos e hidráulicos de fuentes utilizadas en países con características climáticas similares a las de Centroamérica.
- Identificar temas a ser ampliados en futuras revisiones de los manuales.
- Analizar qué temas sobre ambiente se tratan en los manuales sobre construcción de carreteras en SIECA realizando revisiones y observaciones acerca de los mismos.
- Investigar sobre dos tecnologías ambientalmente sostenibles para la construcción de carreteras.
- Proponer la implementación y utilización de nuevas tecnologías sostenibles en la construcción de carreteras, contribuyendo a la construcción de obras de infraestructura vial ambientalmente sostenibles.
- Dotar de una herramienta de evaluación que permita la optimización de la inversión y de la toma de decisiones en proyectos de carreteras.

- Revisar los conceptos de financiamiento bajo esquemas públicos y privados actuales del diseño y mantenimiento de carreteras promovidos por SIECA.
- Revisar los conceptos de análisis de riesgo y sus componentes para el diseño y mantenimiento de carreteras desarrollados por SIECA.
- Disponer de una guía de elaboración de un estudio económico de proyectos a nivel de prefactibilidad.
- Definir consideraciones ingenieriles referentes a los precios sombra, tasas de descuento, modelos de predicción de demanda, Valor Actual neto, Costos y Beneficios sociales, Costos y Beneficios Financieros y otros principios fundamentales a considerar durante un proyecto de carreteras.
- Dotar de una herramienta de evaluación de proyectos viales, definiendo y estableciendo los procedimientos básicos-necesarios para el desarrollo de una buena formulación y evaluación económica de proyectos de diseño y mantenimiento de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo-beneficio, análisis de rentabilidad, proyecciones de demanda, análisis de riesgo e incertidumbre y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.

IV. SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

A. Introducción

La cantidad de vehículos que utilizan las carreteras aumenta año con año. De la misma manera aumenta la cantidad de accidentes de tránsito ocurridos, así como el número de fallecidos. Según la Organización Mundial de la Salud, los accidentes de tránsito son la novena causa de mortandad a nivel mundial, siendo superior en países en vías de desarrollo, y se espera que aumente con el paso de los años, llegando a la quinta posición para el año 2030.

En la República de Guatemala, sólo en el año 2010 se registraron más de 3000 hechos de tránsito, con más de 700 víctimas mortales y 5000 lesionados (datos del Instituto Nacional de Estadística). Estas cifras generan una gran pérdida de vidas humanas, y un gran costo económico para el país.

Con esta información queda clara la importancia que presenta el tema de la seguridad vial para el desarrollo de las carreteras. La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), incluye el tema en gran cantidad de los manuales que posee. Incluso ha desarrollado un manual específico sobre este tema.

En este trabajo se realizará una revisión del contenido de seguridad vial presente en los manuales de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, analizando la información para luego proponer ampliaciones y mejoras a estos manuales, e incluso proponer nuevos temas y manuales a desarrollar sobre aspectos importantes de la seguridad vial que aún no se tienen presentes.

Sin embargo, para tratar el tema de seguridad vial es importante conocer cómo ésta afecta al tránsito, así como comprender ciertos conceptos básicos del tránsito mismo, los cuales se comentan en breve a continuación.

Existen diversas definiciones de lo que es el tránsito, pero lo que es claro es que se encuentra compuesto por tres factores y las relaciones entre estos. Estos factores son los usuarios, los vehículos y la infraestructura vial. Si hace falta uno de estos factores no se considera que exista tránsito. Para que una red vial funcione correctamente deben existir legislaciones y políticas que normalicen la relación entre los tres factores. Es decir, normalizar las características que deben llenar los usuarios para poder utilizar los vehículos, normalizar las características que deben llenar los vehículos para poder utilizar la infraestructura vial, normalizar las características que debe presentar la infraestructura vial para poder ser utilizada por usuarios y vehículos. Sin una normativa completa que cubra estas relaciones, será difícil controlar la seguridad vial.

Otro concepto importante para la seguridad vial es el tránsito balanceado. El tránsito se encuentra en balance cuando el usuario se transporta del punto A al punto B por la ruta establecida, en el tiempo estimado y de forma segura. Si no se cumple uno de estas tres condiciones, el tránsito se encuentra

desbalanceado y se crean demoras o accidentes, fallando toda la red vial. Existen diversas medidas para controlar la última condición, de importancia para el presente trabajo, entre las que se encuentran las auditorías de seguridad vial.

Con una auditoría de seguridad vial se puede identificar los puntos de riesgo en una carretera, existente o nueva, desde su fase de diseño, para poder corregirlos y brindar mayor seguridad a los usuarios. Sin embargo, en Guatemala no existe tal auditoría. Aunque se cuenta con involucrados en el tema de seguridad vial que recopilan datos y, de alguna manera, revisan el diseño de las carreteras, no se tiene el concepto de una auditoría de seguridad vial. Para esto, también es necesario contar con un sistema de información de seguridad vial, el cual se complementa con los datos de hechos de tránsito que se tienen, pobremente, en la actualidad.

En Guatemala no existe aún un sistema de información de seguridad vial. Entre las fuentes primarias que recopilan datos se encuentran las policiales (Policía Nacional Civil y Policías Municipales de Tránsito), bomberiles (Bomberos Municipales y Bomberos Voluntarios), de salud (hospitales y centros de salud) y las aseguradoras. Aunque se cuenta con diversas fuentes de datos de los hechos viales, no existe un sistema unificado de información, siendo los datos recopilados por las distintas fuentes incongruentes unos con otros, perdiendo la calidad y credibilidad de la información. Sin embargo, la dirección de tránsito y la oficina nacional de hechos de tránsito (ONET) están realizando un esfuerzo por desarrollar un formulario único para toma de datos, así como un sistema general centralizando y unificando toda la información.

Además, la calidad de la información recopilada es pobre, ya que no se cuentan con datos referentes a la seguridad vial. Únicamente se encuentran los datos más “relevantes” como los son el número de hechos viales, fallecidos y heridos, distribuidos por edad y sexo. Como ejemplo de esta escasez de información se presentan algunos datos del Instituto Nacional de Estadística en el Anexo 1, y la ficha de seguridad vial de la Organización Mundial de la Salud para Guatemala en el Anexo 2.

Estas medidas para mejorar la seguridad vial (auditorías y sistemas de información) serán presentadas con mayor detalle dentro del presente trabajo, como propuestas a ser desarrolladas por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, con el fin de incluirse dentro de sus manuales y lograr ser aplicadas en la región. Al poner en marcha estos proyectos, la red vial centroamericana tendría una gran ventaja comercial, al proveer de mayor seguridad a sus usuarios.

B. Revisión de manuales de SIECA

Aquí se revisan detalladamente algunos manuales de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, en específico los que tratan la seguridad en las carreteras.

1. Manual centroamericano de seguridad vial (2009). El *Manual centroamericano de seguridad vial* enfoca sus objetivos en homologar regionalmente los niveles de servicio, específicamente en el transporte de pasajeros y de carga, con el propósito de mejorar la eficiencia del intercambio comercial, reduciendo tiempos y costos. Esto se va desarrollando con la propuesta de normas a crear y, sobretodo, cumplir en cada uno de los países de la región centroamericana. (SIECA, 2009a)

a. Conceptos generales. Como una introducción al manual, presenta de manera general la situación de la seguridad vial en la región, planteando que para cumplir con la calidad del flujo vehicular, es necesario contar con normas uniformes y elementos de seguridad a lo largo de la red de carreteras de cada país, así como en la extensión de la Red Vial Centroamericana. También presenta la importancia del buen funcionamiento de la red de carreteras para el desarrollo seguro y eficiente de las actividades socioeconómicas en los cinco países de la región, debido a que el transporte de la importación y exportación se encuentra enlazado entre ciudades y puertos marítimos internacionales, mediante el movimiento de los vehículos de carga en contenedores. (SIECA, 2009a)

Luego se menciona la trilogía vial, que se relaciona al campo de la seguridad vial. Esta trilogía vial se encuentra conformada por tres factores que, al existir una combinación de fallas en uno o varios de estos, son los causantes de los elevados índices de accidentes viales actuales. Estos tres factores son las carreteras y calles (infraestructura vial), los conductores (factor humano), y los vehículos (factor mecánico). (SIECA, 2009a)

Además, enfocándose en el punto de vista económico, resalta que los accidentes de tránsito son un problema real para la economía, puesto que se producen elevados gastos en medicinas, uso de equipos especiales, instalaciones y personal médico y paramédico especializado. Estos gastos se logran disminuir con el diseño de obras viales orientadas a la seguridad del tránsito, toando en cuenta los aspectos y elementos básicos de la seguridad vial. (SIECA, 2009a)

Por último, en este primer capítulo introductorio, se hace énfasis en la participación del gobierno, el estado y otros sectores sociales. Esta observación se basa en ejemplos reales de otros países que han puesto en marcha políticas exitosas en materia de prevención de accidentes. Los gobiernos, al no poder realizar actividades de seguridad vial que sean efectivas y exitosas en el largo plazo, deben proveer condiciones políticas y administrativas que sirvan de marco y las sustenten, a la vez que permitan realizar un trabajo eficaz. Estas actividades deben, a su vez, contemplarse como una tarea social desarrollada por los

organismos estatales, involucrando la participación de otros sectores. Sin este esquema gobierno-estado-sectores sociales se corre el riesgo de que solamente se realice una administración de problemas por parte de organismos públicos. (SIECA, 2009a)

Por ello, debe motivarse la participación de las organizaciones no gubernamentales, así como generar un marco de consideración de las actividades que estas proponen. Logrando este trabajo en conjunto, se puede llegar a la realización de actividades relacionadas con la seguridad vial que sean eficaces, efectivas y exitosas en el largo plazo, además de obtener la participación de varios sectores de la sociedad. (SIECA, 2009a)

b. Objetivos del manual. El objetivo general del *Manual centroamericano de seguridad vial* es armonizar los elementos que conforman el campo de la seguridad vial en los países de la región. (SIECA, 2009a)

Además, se enfoca en ser la base de trabajo e instrumento para la toma de decisiones en materia de seguridad vial, pasando por nuevas políticas públicas y revisión de otros manuales que se refieren a la infraestructura vial. Todo esto, con el objetivo de contribuir a la prevención y disminución de accidentes de tránsito a lo largo de la Red Vial Centroamericana, intentando con esto disminuir el índice de accidentes viales actual, fenómeno que produce anualmente la muerte de cientos de miles de personas en el mundo. (SIECA, 2009a)

c. Diagnóstico regional. Para elaborar el presente manual se realizó un análisis de los aspectos institucionales, normativos y financieros relacionados con las distintas autoridades centroamericanas de transporte. Este completo análisis constituye lo que es el diagnóstico regional, fundamento del *Manual centroamericano de seguridad vial*. (SIECA, 2009a)

Para la elaboración de este diagnóstico se conformó el *Grupo Técnico Regional* con delegados nombrados por los Ministros de Transporte de los cinco países centroamericanos. Este *Grupo Técnico Regional* fue el encargado de analizar los antecedentes y documentos relacionados con el marco técnico-legal en el tema de seguridad vial. Realizaron giras de trabajo con autoridades de transporte y entidades relacionadas con el tema en cada país. Con esta información particular, se procedió al caso general, mediante el planteamiento de un diagnóstico regional. (SIECA, 2009a)

Para mayor claridad de las ideas, el esquema y orden de las variables se centró en tres puntos importantes, los cuales se detallan a continuación, con sus respectivas conclusiones en cada caso:

1) Aspectos técnicos:

- En los países centroamericanos, la materia de seguridad vial es regulada por un marco legal vigente y modificado en los últimos años.

- Existe la participación directa de entidades del gobierno en la regulación y el control de los sistemas de seguridad vial. Algunas entidades del gobierno presentes en cada país se muestran en la **Tabla 1**.
- Existe una metodología y un proceso logístico para el análisis de la información, el cual incluye su recopilación, procesamiento y análisis, para luego generar resultados para la toma de decisiones. (SIECA, 2009a)

Tabla 1: Entidades de gobierno responsables de la seguridad vial

País	Entidad de gobierno	
Costa Rica	Consejo de Seguridad Vial	COSEVI
El Salvador	Comité Nacional de Seguridad Vial	CONASEVI
Guatemala	Dirección de Prevención y Seguridad Vial	PROVIAL
Honduras	Consejo Nacional de Seguridad Vial	CONASEVI
Nicaragua	Consejo Nacional de Seguridad Vial y Educación Vial	CONASEVI

(SIECA, 2009a)

2) Aspectos institucionales y normativos:

- Identificación de un perfil definido de autoridades competentes en materia de seguridad vial. (SIECA, 2009a)
- Existen políticas en materia de seguridad vial en las actuales legislaciones de los cinco países. (SIECA, 2009a)

3) Aspectos financieros:

- Las instituciones de gobierno poseen distintas fuentes propias de ingreso destinadas a los programas de seguridad vial. Entre otros mecanismos se encuentran el impuesto a los combustibles, impuesto de circulación y multas por infracciones a legislación de tránsito.
- Existe la participación de empresas, instituciones privadas y organismos internacionales. (SIECA, 2009a)

d. Definición y descripción del sistema de normas. Este capítulo sirve como introducción a los próximos, donde se hace la aclaración que se estará enfocando el tema en tres partes o normas, tomando en cuenta que existen otros manuales de diseño y especificaciones relacionados al área de la infraestructura vial, aprobados por el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica. Estas partes o capítulos de normas son:

- Marco gubernamental
- Condiciones – Dispositivos de seguridad vial
- Infraestructura y entorno vial (SIECA, 2009a)

e. Normas dirigidas al marco gubernamental. Basándose en la idea de que los gobiernos por sí solos no pueden realizar actividades relacionadas con la seguridad vial que sean efectivas y exitosas a corto y mediano plazos, se propone el aumento de las posibilidades prácticas de participación de las instituciones no estatales y de las organizaciones no gubernamentales. Así, se enumeran ciertas normas específicas que se presentarán en breve a continuación:

1) Establecer políticas públicas claras y fundamentales, dirigidas a prevenir accidentes viales y mejorar los índices de seguridad vial.

2) Fortalecer las entidades públicas de gobierno responsables de la seguridad vial en cada país centroamericano.

3) Coordinación gubernamental, asegurando la participación integral de distintos sectores, con el fin de optimizar los recursos disponibles.

4) Mantener vigentes los planes y estrategias de seguridad vial que definan prioridades, estableciendo indicadores de cumplimiento de metas y objetivos. La evaluación periódica de estos indicadores deberá ser fundamental para la asignación de recursos por parte de los gobiernos.

5) Establecer un sistema de información único, unificado, integrado y confiable, para facilitar la recolección, procesamiento y análisis de datos relacionados con los accidentes de tránsito, como insumo básico para la toma de decisiones.

6) Fortalecer la seguridad vial de la ciudadanía, estableciendo programas curriculares de educación vial en los sistemas educativos formales en todos los niveles.

7) Construcción de parques infantiles de educación vial, con el fin de cubrir la enseñanza de seguridad vial en todos los niveles, principalmente en la educación primaria.

8) Adoptar la implementación de estudios de auditorías como una política de seguridad vial, con procedimientos sistemáticos y organizados, con el fin de prevenir accidentes y mitigar sus consecuencias. (SIECA, 2009a)

f. Normas dirigidas a las condiciones – dispositivos de seguridad vial. En el presente capítulo se toma en cuenta que el desarrollo económico de Centroamérica, siendo una zona territorialmente pequeña, depende en gran parte de la integración correspondiente a la interconexión vial. Esto tendrá como resultado

inmediato que en sus carreteras circulen cada vez más vehículos de transporte pesado y de pasajeros, lo cual aumenta el riesgo de lesiones y muertes relacionadas con accidentes viales. Basado en el eminente aumento del flujo vehicular, se presentan una serie de normas enfocadas a disminuir las posibilidades de riesgo, resumidas a continuación:

- 1) Establecer un sistema de administración de información que contenga estadísticas de accidentes de tránsito, seguros y flotas automotoras, proceso y logística de licencias de conducir, mapa de riesgos (puntos negros).
- 2) Diseñar campañas nacionales de seguridad vial, tomando en cuenta medidas y formas de prevención de accidentes.
- 3) En campañas publicitarias considerar los temas de mapa de riesgos, control de velocidad, abuso de alcohol y drogas, uso del cinturón de seguridad, respeto a las señales de tránsito, entre otros temas afines.
- 4) Lograr un eficiente cumplimiento de la aplicación del marco legal en lo que se refiere a seguridad vial.
- 5) Crear una estadística nacional confiable de accidentes de tránsito que sea concordante con los parámetros internacionales utilizados y aceptados.
- 6) Establecer y determinar un mapa de riesgos y puntos negros, a efecto de prevenir y mitigar adecuadamente los accidentes de tránsito.
- 7) Incluir temas específicos de seguridad vial en los distintos niveles de enseñanza.
- 8) Reforzar los programas de formación de personal policial y de control, organizados por medio de cursos especiales de capacitación, diferenciados para cada grupo.
- 9) Reforzar la acreditación de conductores (prueba teórica, práctica y emisión de licencias y permisos) mediante reformas necesarias a las unidades técnicas y administrativas que regulan esta actividad en cada país.
- 10) Exigir el cumplimiento de la revisión mecánica vehicular en cada país.
- 11) Mejorar el sistema de señalización vial en la región.
- 12) Realizar y mantener actualizado un inventario de la señalización existente.

13) Iniciar el proceso de cumplimiento de la normativa aplicable al transporte de cargas peligrosas en carretera. (SIECA, 2009a)

g. Normas dirigidas a la infraestructura y entorno vial. Es importante la correcta infraestructura vial debido a que gran cantidad de los accidentes de tránsito son el resultado de problemas de diseño geométrico de las carreteras, o tramos de estas. Debido a esa importancia, se debe tomar muy en cuenta el *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales*, especialmente el capítulo 8 que se titula *Elementos Básicos de Diseño para el Mejoramiento de la Seguridad Vial en las Carreteras*. En base a este capítulo, se extraen las siguientes normas específicas:

1) Adoptar y aplicar nuevas o mejores normas de diseño que incorporen los conceptos de seguridad desde la fase de planificación hasta la operación de las carreteras.

2) Aplicación de actividades técnicas de la ingeniería de tránsito para investigar los accidentes, sin excluir una posible causa operacional debido al diseño de la carretera.

3) Evitar cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado.

4) Prestar atención a las necesidades de los peatones, ciclistas y motoristas.

5) Incorporar una zona contigua a la pista de rodamiento que permita la recuperación del control del vehículo que se ha salido de la vía.

6) Minimizar los puntos de conflicto desde su diseño geométrico, tomando en cuenta el inciso *iv*, mencionado con anterioridad.

7) Facilitar la efectiva interacción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos, para el control y el frenado de estos.

8) Regular y fiscalizar los proyectos de construcción pública o privada que generen elevados flujos vehiculares y de conflictos en la red vial existente, y que crean condiciones de inseguridad vial a los usuarios de su entorno inmediato. Esto implica normar los requisitos para su autorización y revisión técnica correspondiente.

9) Desarrollar y aplicar un sistema dinámico que combine el conocimiento de factores tales como las características del tránsito, la distribución y la naturaleza de los accidentes, entre otros, para generar la planificación y adopción de medidas que conduzcan al mejoramiento de la seguridad vial.

10) Revisar los aspectos de mayor relevancia.

11) Los responsables del mantenimiento de las carreteras deben tener plena conciencia de la seguridad vial, basados en el buen funcionamiento de todas las instalaciones y dispositivos que desempeñan una función dentro de la seguridad vial. Esto implica otorgarle la prioridad que merecen las tareas de inspección, conservación, reparación y remplazo de dichas instalaciones y dispositivos.

12) Garantizar la debida instalación de servicios dentro del derecho de vía pública de una carretera. (SIECA, 2009a)

h. Anexo. Por último, el *Manual centroamericano de seguridad vial* presenta un breve análisis de la situación de seguridad vial en cada uno de los países de la región. Para ejemplificar, en este trabajo únicamente se tocará el *Anexo III: Situación de la Seguridad Vial en Guatemala*, donde se describe de forma breve el diagnóstico en temas de seguridad vial realizado para este país. (SIECA, 2009a)

1) Aspectos técnicos. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La recopilación de información sobre accidentes de tránsito es llevada a cabo, principalmente, por la Dirección General de Protección y Seguridad Vial (PROVIAL). La información es aportada por la Policía Nacional Civil (PNC), los cuerpos de Bomberos Municipales y Bomberos Voluntarios, y otras fuentes.
- PROVIAL cuenta con un formulario estandarizado para la recopilación de información, el cual utilizan las entidades anteriormente mencionadas.
- Con los datos recopilados se realizan cálculos estadísticos y basados en los resultados obtenidos de estos se definen los puntos negros que permiten tomar decisiones.
- Para apoyar la falta de información, se han efectuado estudios especializados como el Estudio de Factores Relacionados con la Seguridad Vial.
- Existe mucho por hacer en los temas de educación vial, estudios de clima, topografía de terreno a lo largo de las vías, señalización vial y otros. PROVIAL se encuentra realizando avances en estos temas mencionados.
- La Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) cuenta con una base informática de datos relacionados a vehículos automotores y licencias de conducir. A la vez, facilita el análisis de información y estadísticas con estos datos.
- La Dirección General de Caminos es el ente rector de la protección a la infraestructura vial, por medio de control de pesos y dimensiones de vehículos de carga.
- El Departamento de Ingeniería de Tránsito ejerce un control sistemático de todos los requerimientos de equipamiento vial necesarios para todos los tramos carreteros de primer y segundo orden, a efecto de garantizar el buen funcionamiento de la flota vehicular liviana, de carga y pasajeros.

- Además, el Departamento de Ingeniería de Tránsito ha diseñado un Parque Infantil de Seguridad Vial, un prototipo a ser utilizado en todo el país para la capacitación en el tema de la seguridad vial.
- Se desarrollan diversos temas relacionados con la seguridad vial, como lo son el inventario de puntos negros en toda la red vial del país y la asesoría en todas las etapas de desarrollo de los nuevos proyectos carreteros. (SIECA, 2009a)

2. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (2004). Debido al deseo de avanzar en la Integración Centroamericana, y en específico, debido a la conformación y aprobación de la Red de Carreteras Regionales Centroamericanas, la región se ve en la necesidad de contar con normas y procedimientos regionales que rijan el diseño, construcción, mantenimiento y operación, para asegurar la coherencia y uniformidad funcional de toda la red de carreteras de la región. (SIECA, 2004a)

Aunque el manual en cuestión es bastante extenso, para fines del trabajo se revisará únicamente el último capítulo: *Elementos básicos de diseño para el mejoramiento de la seguridad en las carreteras.*

a. La seguridad vial, una asignatura pendiente. Como una introducción al capítulo, se presentan datos publicados por la AASHTO indicando que entre 1972 y 1995 se registró la reducción del 37 por ciento en la cantidad de accidentes mortales en las carreteras norteamericanas, al mismo tiempo que el registro vehicular se incrementó en 71 por ciento. También se destaca que el índice de mortalidad por cada 10,000 vehículos automotores, es de 2.7 en los Estados Unidos, 2.8 en Canadá y 6.9 en España, siendo esta última la tasa más alta entre los países desarrollados. Entre 10 y arriba de 100 se ubica el índice de mortalidad de los países en desarrollo. (SIECA, 2004a)

En contraste a estos datos, se presentan los de Centroamérica, donde el número de vehículos crece aceleradamente. Sin embargo, también ha sido acelerado el incremento en la siniestralidad y mortalidad de los accidentes provocados por los vehículos automotores en las calles y carreteras de la región. A pesar de estos datos escalofriantes que se presentan, se hace énfasis en que más lamentable es aún, que nada apunta hacia la reversión de esa tendencia regional a corto plazo, dando algunas razones para fundamentar esta idea dura y cruel, pero realista. (SIECA, 2004a)

Luego de estos datos, el capítulo presenta algunas soluciones teóricas, como la intervención en la adopción y aplicación de mejores normas de diseño incorporando, desde la fase de planificación hasta la operación de las carreteras, los conceptos de seguridad. También motiva a aplicar técnicas de la ingeniería de tránsito para investigar los accidentes, determinando la causa aparente de los mismos, la falla operacional causante y la magnitud del problema. (SIECA, 2004a)

Como interrogante, se plantea qué se debe y se puede hacer para incrementar la seguridad vial desde el punto de vista del diseño, si de previo se reconoce que el 85 por ciento de los accidentes ocurren por errores humanos, lo cual deja en apariencias muy poco margen para la intervención efectiva del ingeniero vial. Pero es justamente el buen conocimiento de los factores humanos lo que resulta esencial para el buen diseño de carreteras seguras y funcionales. (SIECA, 2004a)

Además, se presentan algunos criterios básicos que se deben tener presentes para contribuir al mejoramiento de la seguridad vial, a través del diseño. Estos se enuncian a continuación:

- El diseño de una carretera debe ser consistente, evitando los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado. Es esencial prestar atención a la administración de los accesos a las carreteras, considerando las maniobras de giro y cruce desde el diseño. Este control de los accesos es reconocido como el factor de diseño que tiene mayor incidencia en la seguridad y en la preservación de la capacidad de las carreteras.
- En el diseño debe prestarse atención a las necesidades de los peatones, ciclistas y motoristas que circulan por las carreteras de la región en volúmenes significativos.
- Se debe incorporar una zona contigua a la pista de rodamiento, en donde la combinación de la pendiente, la superficie y la falta de obstáculos permita la recuperación del control de un vehículo salido de su curso. Deben incorporarse taludes que eviten el vuelco de los vehículos, no tener obstáculos fijos, señales con soportes que colapsen al impacto, cubiertas montables sobre los tragantes, entre otros dispositivos de seguridad.
- Deben minimizarse los puntos de conflicto en las carreteras, contemplando rutas separadas para peatones, ciclistas y motoristas, reducción del número de cruces ferroviarios, construcción de barreras e islas para la canalización de las corrientes y el uso de los dispositivos apropiados para el control del tránsito.
- En el diseño de los pavimentos de las carreteras es esencial facilitar la efectiva interacción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos para el control y el frenado de los mismos. Es de vital importancia hacer que el agua superficial escurra rápidamente la superficie de la calzada y que la superficie de fricción conserve sus características durante toda la vida útil del pavimento.
- Se debe desarrollar y aplicar un sistema dinámico de administración de la seguridad de las carreteras. Esta se define como la integración total del tema de la seguridad vial en el proceso de decisión durante la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación de planes, proyectos y actividades relacionadas con las carreteras. (SIECA, 2004a)

Luego de estos criterios básicos que se deben tener presentes para contribuir al mejoramiento de la seguridad vial a través del diseño, se hace énfasis en el sesgo de las inversiones viales de los países centroamericanos hacia los proyectos de rehabilitación, mejoramiento y ampliación de carreteras existentes.

Aunque parezca esto bueno, se resalta que no lo es, pues a consecuencia de esto la construcción de nuevas carreteras ha pasado a un obligado segundo plano de atención. Esto detiene la oportunidad de nuevas carreteras orientadas a la ampliación de las fronteras económicas, hacia áreas productivas desaprovechadas o subexplotadas. (SIECA, 2004a)

Luego de estos puntos, se tocan ciertos temas, para detallar aspectos a tomar en cuenta para el diseño de las carreteras, en específico para cada caso. (SIECA, 2004a)

b. Las carreteras rurales. Al diseñar carreteras rurales resulta fundamental reconocer que el conductor espera continuidad en la solución vial que se le presente. Al ofrecerle esta continuidad, el conductor logra reaccionar de manera consistente frente a las situaciones que le resulten familiares, no esperando situaciones sorprendidas. Si por cualquier motivo se rompe con esta continuidad esperada por los usuarios, se deberá de alertar a los mismos sobre el cambio de condiciones para permitirle adaptarse gradualmente a éstas. (SIECA, 2004a)

Con respecto al uso de zonas con límites de velocidad, la decisión debe ser justificada, además de alertar al conductor por los medios a su disposición. Se debe tomar en cuenta que según estudios, el 85 percentil de la velocidad instantánea se ubica entre 10 y 23 kilómetros por hora sobre la velocidad límite. (SIECA, 2004a)

Luego, el capítulo propone tocar algunos temas importantes para el diseño específico de carreteras rurales, expuestos en breve a continuación:

1) Carriles y hombros o espaldones. Basado en investigaciones realizadas en los Estados Unidos de América, se indica que el ancho de la corona de una carretera, o sea la sumatoria de los carriles y los hombros, es uno de los más importantes elementos a considerar en relación a la seguridad vial. Cabe destacar que, según dicha investigación, se obtienen mejores beneficios si el esfuerzo se concentra en el mejoramiento de los carriles que en los hombros. (SIECA, 2004a)

2) Carriles de ascenso. Para mejorar la fluidez de la circulación e incrementar los márgenes de seguridad del tránsito, se recomienda la construcción de carriles de ascenso en una carretera de dos carriles, cuando la longitud de la pendiente es crítica, reduciendo significativamente la velocidad de los vehículos, en especial de los camiones típicos. (SIECA, 2004a)

En caso de carriles para ciclistas, estos requerirán que se les provea un hombro de 1.8 a 2.4 metros de ancho, cada vez que la pendiente longitudinal exceda el 2 por ciento.

3) Carriles para adelantar. En carreteras de dos carriles donde existan restricciones severas para adelantar con seguridad, debido a una muy limitada visibilidad o un exceso de tránsito en el sentido

contrario. Se recomienda la utilización de dispositivos de medición del tránsito para evaluar la necesidad de utilizar esta alternativa como solución. (SIECA, 2004a)

4) Curvas horizontales y verticales. Las curvas horizontales deben ser analizadas con mucha atención, pues tienen una mayor incidencia relativa de accidentes. La FHWA norteamericana les ha puesto más atención y presenta un conjunto de guías a tomar en cuenta en el territorio centroamericano. (SIECA, 2004a)

Para el mejoramiento de las curvas horizontales en carreteras existentes se deberá considerar aceptables las curvas donde la velocidad de ruedo de los vehículos que ingresan a la misma se encuentra dentro del rango de 25 kilómetros por hora por debajo de la velocidad de diseño. El límite correspondiente para curvas verticales se establece dentro de los 32 kilómetros por hora del 85 percentil de la velocidad de ruedo de los vehículos en la cresta. (SIECA, 2004a)

5) Medianas. El uso de medianas es altamente recomendable, utilizando un ancho de entre 4 y 7 metros. Sin embargo, debe prestarse atención a la administración de los accesos a la carretera, puesto que de tenerlos deficientes, pueden interferir con los beneficios funcionales previstos por la mediana. (SIECA, 2004a)

También es importante velar por la seguridad de los usuarios debiendo, las medianas, permitiendo al conductor recuperar el control de un vehículo descarriado. (SIECA, 2004a)

6) Intersecciones. El mejoramiento de las intersecciones se enfoca en tres aspectos:

- Eliminar, o por lo menos reducir, los conflictos vehiculares entre sí y de estos con los peatones.
- Mejorar la capacidad de las intersecciones.
- Perfeccionar los medios de información, para que el conductor pueda tomar las decisiones apropiadas. (SIECA, 2004a)

El primer empeño se concentra en canalizar las corrientes de tránsito en las operaciones de giro, buscando mejorar su eficiencia. El segundo aspecto es asegurar que las distancias de visibilidad sean suficientes para que el conductor pueda realizar con éxito y sin dificultades las maniobras de operaciones de separación, convergencia o cruce de las corrientes de tránsito. (SIECA, 2004a)

7) Soportes de señales y postes de servicio público. Los soportes de las señales, ni las señales mismas, no deben actuar como barreras que puedan ser mortales al ser impactadas por un vehículo fuera de control. Ahora, se recomienda instalar señales sobre soportes que se rompen al impacto de un vehículo, sin ofrecer resistencia. También debe prestarse atención a los postes de servicio público, los

cuales deben colocarse, en medida de lo posible, en los límites de derecho de vía, para reducir la posibilidad de que sean impactados. (SIECA, 2004a)

8) Peatones y ciclistas. Los espacios para el tránsito de peatones y ciclistas deben tomarse en consideración, construyendo estos en áreas separadas físicamente de la pista, dejando una separación física considerable con la pista principal. (SIECA, 2004a)

c. Carreteras urbanas y suburbanas. Las áreas urbanas y suburbanas son las que presentan mayores tasas de accidentalidad vial, debido a una diversidad de factores, entre los que se destacan:

- Volúmenes de tránsito cada vez mayores.
- Alta concentración de intersecciones problemáticas.
- Derechos de vía restringidos que limitan oportunidades para ampliaciones necesarias.
- Presencia creciente de vehículos conflictivos.
- Masiva intromisión de peatones. (SIECA, 2004a)

Con respecto a las velocidades de operación, los rangos de variación son más amplios que en las carreteras rurales. Estas velocidades deben sacrificarse en las horas pico en beneficio de un manejo de volúmenes de tránsito más elevados. (SIECA, 2004a)

Luego, el capítulo propone tocar algunos temas importantes para el diseño específico de carreteras urbanas y suburbanas, expuestos en breve a continuación:

1) Hombros y bordillos. Como recomendación general, los hombros deben continuarse en las vías urbanas y suburbanas. Puede optarse por utilizar una sección cerrada, limitada con bordillo y cuneta, o una sección abierta, con los hombros pero sin bordillos, según los factores que afecten el entorno vial específico. (SIECA, 2004a)

Cabe la aclaración de no utilizar bordillos en carreteras de velocidades relativamente altas, puesto que el bordillo puede provocar el vuelco o pérdida de control del vehículo, al impactar con la orilla del mismo. (SIECA, 2004a)

2) Aceras. Separar las aceras de la pista principal con una barrera física o mediante una franja de amortiguamiento que incremente la seguridad de la circulación peatonal. Proveer de las mismas en puentes, protegidas por barreras resistentes al impacto vehicular. Además, las aceras deben diseñarse con los anchos que determinen los estudios de tránsito específicos en la materia. (SIECA, 2004a)

3) Medianas. Las carreteras divididas tienen mejores registros de seguridad que las no divididas. Las medianas en áreas urbanas y suburbanas se utilizan de dos tipos:

- Delimitadas por bordillos. Preferidas en zonas de elevados volúmenes de tránsito, velocidades moderadas y altos niveles de desarrollo marginal. Deben utilizarse bordillos montables cuando las velocidades permisibles sean elevadas, para evitar que pierdan el control los vehículos que los impacten.
- Integrados al mismo nivel de la vía, con formas definidas por las marcas en el pavimento. No son recomendables en vías con más de cuatro carriles. Ofrece ventajas variadas en relación a las anteriores. Solución apropiada para volúmenes de tránsito no tan grandes. (SIECA, 2004a)

4) Intersecciones. Para reducir los conflictos en las intersecciones, se propone enfocarse en la administración de los accesos. Sin embargo, no sólo canalizando las diferentes corrientes de tránsito lograremos mitigar los problemas, es de igual importancia la señalización del curso de los movimientos de manera tal que a todos los usuarios les resulte fácil utilizar. Así, los usuarios serán más ágiles en la toma de decisiones, logrando incrementar la eficiencia del tránsito. (SIECA, 2004a)

En el referéndum de intersecciones, se detallan las dimensiones para que la construcción de islas sea recomendable, o no, desde el punto de vista de la seguridad de la circulación. (SIECA, 2004a)

5) Las carreteras o calles marginales o frontales. Tienen como propósito separar el tránsito principal de mayor velocidad relativa, del tránsito más lento de tipo local y que tiene origen o destino a lo largo de la vía. Esto incrementa la capacidad y la seguridad de la corriente principal. Deben diseñarse para la circulación en un solo sentido. Dentro de este tema se incluyen los llamados “carriles auxiliares”. (SIECA, 2004a)

6) Soportes de señales y postes de servicio público. En comparación con las carreteras rurales, debe evaluarse la utilización de señales de tránsito con soportes cuya base cede ante el impacto de un vehículo. Esto debido a que pueden presentarse situaciones que conviene evaluar antes de tomar una determinación en ese sentido. (SIECA, 2004a)

Los postes de servicio público deben ubicarse cerca de los límites del derecho de vía, siendo la distancia mínima 0.5 metros de la calzada. Esto con el fin de reducir al máximo la oportunidad de que puedan ser impactados por los vehículos dentro de la corriente de tránsito. (SIECA, 2004a)

d. Mantenimiento de las carreteras y la seguridad vial. Es necesario que los responsables del mantenimiento de las carreteras tengan conciencia del alcance del buen funcionamiento de todas las instalaciones y dispositivos que desempeñan una función dentro de la seguridad vial. Por tanto, deben dar importancia a las tareas de inspección, conservación, reparación y remplazo de las instalaciones y dispositivos en reconocimiento del papel que desempeñan. (SIECA, 2004a)

En esta tarea, es crítico el mantenimiento de las marcas en el pavimento y las señales de tránsito. Esto debido a que en caso de mal estado, pueden limitar la información necesaria para los conductores, produciendo que estos tomen decisiones erróneas y se produzcan accidentes severos de consecuencias indeseables. (SIECA, 2004a)

e. Instalación de servicios dentro del derecho de vía de una carretera. Puesto que la seguridad de la carretera puede ser afectada por los servicios públicos que en ocasiones se vuelven privados, es necesario que la autoridad vial determine bajo qué condiciones se deben instalar dichos servicios. En el caso de ductos subterráneos, se debe considerar suficiente distanciamiento vertical de la superficie del terreno, y suficiente distanciamiento horizontal de las cimentaciones u otras obras civiles. También es importante la protección de las instalaciones, puesto que la idea general es que las instalaciones de estos servicios no interfieran con el resto de construcciones y tampoco de manera inversa, es decir, que las carreteras o cimentaciones vayan a afectar, en algún momento, con los servicios prestados. (SIECA, 2004a)

f. Los desastres naturales en el contexto de la seguridad vial. El sistema carretero centroamericano ha confirmado reiteradamente su excesiva vulnerabilidad ante los desastres naturales, que a la vez son de muy alta recurrencia en la región. En cada uno de estos, la destrucción de tramos carreteros y puentes llevan a la interrupción del funcionamiento de la red vial, se redescubre la carencia de planes de contingencia de activación inmediata, los Gobiernos realizan intervenciones de emergencia sin reparar en los costos de las soluciones aportadas. Luego de que los desastres naturales han pasado, se inicia el proceso de construcción, cuya ejecución está condicionada a la ayuda oportuna de la comunidad internacional. Pese a las graves consecuencias vividas, en gran cantidad de ocasiones, aún no termina de asimilarse la importancia de evaluar riesgos en la planificación y diseño de las obras requeridas para la reconstrucción de la infraestructura vial dañada. Así, es menos probable volver a caer en los mismos errores y minimizar las condiciones que permitan la repetición de estos desastres. (SIECA, 2004a)

Por estas razones, se recomienda incluir el tema de análisis de riesgos en todo el proceso de planificación, diseño, construcción, mantenimiento, reparación y operación de las carreteras; en específico las que forman parte de los denominados corredores de transporte regional por carreteras. (SIECA, 2004a)

3. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales (2004). En este manual, se busca la armonización y modernización de las normativas técnicas que se aplican en el diseño, construcción, mantenimiento, reparación y operación de las carreteras. Esta armonización y modernización para la región busca que, a través del desarrollo de lineamientos y estándares regionales actualizados, se reduzcan la vulnerabilidad del sistema vial ante los desastres naturales. (SIECA, 2004)

Secciones que tengan relación directa con la seguridad en la infraestructura vial son únicamente las que tratan sobre la señalización permanente y temporal para el control del tráfico.

a. Sección 633 Dispositivos de Control Permanente del Tráfico

1) Sección 633.01 Descripción. Este capítulo consiste en suministrar, construir e instalar señales de control permanente del tráfico, sus soportes, delineadores y marcadores especiales y también el proceso de eliminar y sustituir los dispositivos existentes. Se especifican los materiales para la construcción de los paneles y postes.

2) Sección 633.02 Materiales. Se da un listado con las secciones con las especificaciones que los materiales deben satisfacer.

3) Sección 633.03 Generalidades. Se deben suministrar e instalar las señales de tráfico conforme el *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*.

4) Sección 633.04 Soportes. La longitud y ubicación exacta de los postes se determinará en base a los planos, pero podrá modificarse al momento de su colocación. Se indica la manera de colocarlos.

5) Sección 633.05 Paneles. Se determinan las características de los paneles, a grandes rasgos: utilización de paneles reflectivos, tipos de letra a utilizar, forma de cortarlos, superficie del panel, modo de transporte, posición de instalación, dirección hacia los vehículos, materiales protectores, forma de reparación, manera de tapar la señal si fuera necesario, entre otras generalidades.

6) Sección 633.06 Delineadores y marcadores especiales. Se deben fijar a los postes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7) Sección 633.07 Eliminación y recolocación de señales permanentes de control de tráfico. Se indica la eliminación y almacenamiento de las señales existentes, delineadores y marcadores especiales. Se deben reemplazar todos los elementos que se deterioren durante este proceso.

8) Sección 633.08 Aceptación. Se indican las subsecciones del manual con que se evaluarán los materiales a utilizar, la manera de instalación, la excavación, relleno y concreto utilizado.

9) Sección 633.09 Medición. Se indica la forma de medición de las señales viales y que elementos la componen. De esta manera se especifica la manera de contarlas para su posterior pago.

10) Sección 633.10 Pago. Se indica que la forma de pago será por unidad, según lo especificado en el contrato. (SIECA, 2004)

b. Sección 634 Señales Permanentes sobre el Pavimento

1) Sección 634.01 Descripción. Este capítulo consiste en construir o instalar señales lisas o en relieve como señalización horizontal en pavimentos terminados. Se recomienda consultar el *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Las marcas o señales sobre el pavimento se denominan como sigue:

- Tipo A: Pintura convencional para pavimento, con esferas de vidrio tipo 1.
- Tipo B: Pintura de base acuosa para pavimento, con esferas de vidrio tipo 1.
- Tipo C: Pintura de base acuosa para pavimento, con esferas de vidrio tipo 3.
- Tipo D: Señales epóxicas, con esferas de vidrio tipo 1.
- Tipo E: Señales epóxicas, con esferas de vidrio tipo 1 y tipo 4.
- Tipo F: Señales de poliéster con esferas de vidrio tipo 1.
- Tipo G: Señales de poliéster con esferas de vidrio tipo 1 y tipo 4.
- Tipo H: Señales termoplásticas, con esferas de vidrio tipo 1.
- Tipo I: Señales termoplásticas con esferas de vidrio tipo 1 y tipo 5.
- Tipo J: Señales de plástico preformado.
- Tipo K: Señales no reflectivas. (SIECA, 2004)

2) Sección 634.02 Materiales. Estos deben estar conformes con las subsecciones del *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Se nombran algunos materiales utilizados, como lo son pintura convencional de pavimentos, señales epóxicas, adhesivos de resina epóxica, esferas de vidrio, señales de poliéster, señales de plástico preformado, señales en relieve para pavimento, señales termoplásticas y pintura de base acuosa para pavimentos. (SIECA, 2004)

3) Sección 634.03 Generalidades. Cuando se repare el pavimento, se deben realizar mediciones de los límites de las señales, para luego elaborarlas de forma idéntica sobre el pavimento reparado. Debe eliminarse la contaminación de la superficie que será marcada. Deben sustituirse las señales provisionales el mismo día que se colocarán las definitivas. Luego se indican algunas generalidades sobre los procedimientos de verificación, transporte, construcción, e instalación entre otras. Se remarca que las líneas continuas simples o paralelas y las intermitentes deben de cumplir con dimensiones normalizadas en el *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. (SIECA, 2004)

4) Sección 634.04 Pintura convencional del pavimento (Tipo A). Se indican las características de cuándo aplicar la pintura convencional tipo A y su modo de aplicación.

5) Sección 634.05 Pintura de base acuosa para pavimentos (Tipos B y C). Se indican las características de cuándo aplicar la pintura de base acuosa y su modo de aplicación.

6) Sección 634.06 Señales de material epóxico (Tipos D y E). Se indican las características de preparación de la mezcla epóxica y su modo de aplicación.

7) Sección 634.07 Señales de poliéster (Tipo F y G). Se indican las características de cuándo utilizar las señales de poliéster y su modo de aplicación.

8) Sección 634.08 Señales termoplásticas (Tipo H e I). Se indica que al aplicar estas señales sobre pavimentos de concreto Portland o pavimentos viejos de asfalto, se debe utilizar un sellador de resina epóxica. También se detallan las características de cuándo utilizar las termoplásticas y su modo de aplicación.

9) Sección 634.09 Señales de plástico preformado (Tipo J). Se indican las características de cuándo utilizar las señales de plástico preformado y su modo de aplicación.

10) Sección 634.10 Señales no reflectivas (Tipo K). Para este tipo de señales aplicar cualquiera de las descritas anteriormente, con la única diferencia que no se agregarán las esferas de vidrio al final del proceso.

11) Sección 634.11 Señales en relieve en el pavimento. Se indican las características de cuándo utilizar las señales en relieve en el pavimento y su modo de aplicación.

12) Sección 634.12 Aceptación. Se determinan las subsecciones bajo las cuales serán evaluados los materiales y la colocación de las señales permanentes. (SIECA, 2004)

c. Sección 635 Dispositivos de Control Temporal del Tránsito

1) Sección 635.01 Descripción. Este capítulo consiste en el suministro, colocación, mantenimiento y movilización de señales viales de uso temporal durante reparaciones u obras en la carretera, para protección de los conductores, los obreros y maquinarias de trabajo. Se recomienda consultar el *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes de Control de Tránsito*. (SIECA, 2004)

2) Sección 635.02 Materiales. Se da un listado con las secciones con las especificaciones que los materiales deben satisfacer.

3) Sección 635.03 Requisitos generales. Deben suministrarse y colocarse las señales y dispositivos conforme al plan de señalamiento aprobado previamente para la obra, y que cumple con los requisitos del *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes de Control de Tránsito*. Luego se enlista una serie de observaciones con respecto al suministro, colocación, movilización y mantenimiento de las señales y dispositivos con respecto al tiempo. (SIECA, 2004)

4) Sección 635.04 Medición y pago. Se hace la aclaración que los costos de la señalización y dispositivos de seguridad vial y manejo de tránsito deben incluirse en los rubros de costos indirectos del proyecto desde la cotización. Por su parte, el contratante debe revisar el cumplimiento del plan de

señalización definido previamente y podrá paralizar la obra cuando no cumpla fielmente lo pactado. (SIECA, 2004)

4. Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes (2010). El presente manual describe las acciones necesarias para la gestión de riesgo durante el ciclo del proyecto conformado por las siguientes etapas:

- Pre-inversión: Planificación y diseño.
- Inversión: Construcción.
- Post-inversión: Operación y mantenimiento. (SIECA, 2010)

Sin embargo, este manual se enfoca en la primera etapa, puesto que la segunda se encuentra contemplada en el *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* y la tercera en el *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con inclusión de elementos de gestión de riesgo y seguridad vial*. (SIECA, 2010)

Por su parte, en este trabajo únicamente se hará mención sobre las partes relacionadas directamente con la seguridad en la infraestructura vial.

a. Sección 4.3.8. Seguridad Vial. El presente capítulo se encuentra ubicado dentro de la sección 4 titulada *Normas para la gestión del riesgo en puentes*, subsección 4.3 *Diseño*.

Comienza por determinar que el diseño de toda la señalización horizontal y vertical deberá realizarse dando cumplimiento a lo establecido en el *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. (SIECA, 2010)

De la misma manera, para la realización de las aceras, se deberán seguir las indicaciones en la sección 8.3.2 del *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. Las ciclo vías también deberán de basarse según este manual, en la sección 4.3.6. (SIECA, 2010)

b. Sección 7. Factores de Seguridad Vial. Se inicia el capítulo como una introducción referente a los elevados gastos como consecuencia de los accidentes de tránsito, enfatizando en que estos pueden disminuirse por medio de diseños de obras viales con enfoque en seguridad del tránsito, tomando en cuenta los aspectos y elementos de seguridad vial. (SIECA, 2010)

Luego, el capítulo cita una serie de recomendaciones establecidas por el *Estudio Centroamericano de Transporte (ECAT-2001)*:

- Medidas de regulación y control de tránsito.
- Normas de diseño y de equipo de las carreteras.

- Formación y control de los conductores, emisión de permisos de conducir.
- Educación de los usuarios y peatones, campañas de prevención.
- Normas técnicas de los vehículos e inspección técnica de los mismos.
- Equipo de rescate vial y servicios médicos de emergencia.
- Mejoría de los seguros e incentivos para reducir el número de accidentes.
- Elaboración de bases de datos de los accidentes.
- Organización de la seguridad en las carreteras.
- Educación y formación del personal involucrado en la seguridad vial.
- Investigación y desarrollo en seguridad de las carreteras.
- Evaluación costo-beneficio para ayudar a la identificación de las medidas más eficientes. (SIECA, 2010)

También se enlistan una serie de publicaciones, realizadas por la SIECA, que han sido consultadas para establecer los factores de seguridad como parte de la gestión del riesgo en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de carreteras y puentes, que son:

- *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras* (2004)
- *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control de tránsito* (2001)
- *Armonización de normas y legislaciones nacionales relacionadas con el transporte terrestre. diagnóstico y propuestas finales del transporte regional de pasajeros y carga* (2005)
- *Manual centroamericano de seguridad vial* (2009). (SIECA, 2010)

En los anteriores, específicamente, se mencionan algunos factores que contribuyen a la gestión del riesgo para la seguridad vial:

- Mantenimiento de la señalización horizontal y vertical.
- Separación de flujos.
- Campañas de seguridad vial.
- Participación de sectores diversos.
- Estadísticas de accidentes de tránsito.
- Mapas de accidentes de tránsito.
- Educación vial para escolares, universitarios y conductores.
- Consultas de los diferentes manuales y normas.
- Fortalecimiento institucional. (SIECA, 2010)

5. Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos (2009). Siempre enfocado a la integración económica centroamericana, se presta atención especialmente al servicio prestado por el transporte, parte vital en el crecimiento de la economía regional. En el presente manual, se establecen métodos y procedimientos de inspección de los vehículos, buscando que los automotores que transiten las carreteras de la región puedan prestar el servicio que se desea. (SIECA, 2009)

La manera en que se desarrolla el manual va enfocada a una revisión mecánica y sistematizada del vehículo, indicando claramente las características que se consideran como un defecto, siendo este leve o grave. (SIECA, 2009)

a. Normas generales. «La Revisión Técnica Integral de Vehículos (RTV) tiene como objeto fundamental comprobar que, tanto el estado general, como los elementos de seguridad del vehículo, se cumple con las condiciones mínimas de mantenimiento, funcionamiento y seguridad, para seguir circulando sin que represente un peligro ni para sus ocupantes ni para cualquier otra persona o elementos que se encuentre en la vía pública, de conformidad con la normativa legal pertinente.» (SIECA, 2009)

Con la Revisión Técnica Integral se busca mejorar el estado de los vehículos que transitan por las carreteras de la región, con el fin de renovarla. Entre otras, algunas de los beneficios que se pueden adquirir al adoptar este sistema de revisión son los siguientes:

- Se reducen los gastos en reparaciones, gracias a un mayor mantenimiento preventivo y la importación de vehículos en mejor estado.
- Los índices de seguridad se mejoran debido a que existirán menos accidentes.
- Se tiene un mayor control administrativo, fortaleciendo así la lucha contra la delincuencia. Así, se controla la duplicación y manipulación de número de identificación, venta de vehículos robados, etc.
- Se logra el control de la contaminación del aire y la emisión de gases de efecto invernadero. Esto también beneficia a los usuarios, pues a menor emisión de contaminantes, menor consumo de combustible. (SIECA, 2009)

Al principio de cada revisión deberá identificarse el vehículo, comprobando que las características del mismo coincidan con las descritas en la tarjeta de derecho de circulación. Luego, se procederá a realizar la revisión sin desmontar piezas o elementos propios del vehículo. (SIECA, 2009)

Para mantener la independencia de la labor que realicen las estaciones o centros de revisión técnica integral de vehículos, estas sólo podrán realizar revisión técnica como única labor comercial. Así, se prohíbe prestar el servicio de un taller mecánico, venta de repuestos, transporte de mercancías, etc. Tampoco será permitido que los propietarios físicos o jurídicos del centro participen como socios, directores, administradores o gerentes de ninguna actividad relacionada con las anteriores. Todo esto con el

objetivo de “garantizar la independencia y objetividad de sus criterios técnicos y de su labor de inspección”. (SIECA, 2009)

La revisión de cada vehículo deberá realizarse en un tiempo razonable, sin que por ello se produzcan retrasos o demoras que afecten la calidad, eficiencia y rapidez del servicio. Esta revisión deberá efectuarse según la guía proporcionada en el manual, inspeccionando visual y mecánicamente el vehículo, con la finalidad fundamental de “detectar anomalías que afecten el correcto funcionamiento de los mecanismos del vehículo”. (SIECA, 2009)

b. Normas específicas. Con el fin de realizar las operaciones de revisión referidas, se utilizarán dos métodos para la inspección del vehículo:

- Inspección visual: Ésta se realizará sin la ayuda de ningún instrumento, buscando ruidos o vibraciones anormales, holguras o puntos de corrosión, soldaduras no autorizadas en determinados componentes, fisuras, roturas o piezas incorrectas.
- Inspección mecanizada: Se realizará con ayuda de aparatos e instrumentos electromecánicos y electrónicos. Se enfocará en realizar mediciones y analizar los datos, de manera que no existen irregularidades ni situaciones fuera de lo establecido. Entre otras cosas se medirá el humo, los niveles de ruido, se analizarán los gases de escape, se comprobará el funcionamiento de los frenos, las luces altas y bajas, la alineación de dirección y el banco de suspensión. (SIECA, 2009)

Se determinan, con el objetivo de uniformizar el procedimiento, los criterios para la clasificación de los defectos:

- Defectos leves: «Son aquellos defectos que, al ser detectados en el vehículo automotor, su propietario deberá subsanar, no estando obligado a volver a la estación de revisión técnica para verificar las correcciones.» (SIECA, 2009)
- Defectos graves: «Son aquellos defectos que, de ser detectados en el vehículo automotor, deberán repararse, teniendo la obligación el propietario, de llevarlo nuevamente a la estación de revisión técnica, para comprobar las correcciones.» (SIECA, 2009)
- Defectos peligrosos: “Son aquellos defectos graves que se hubieren detectado en un vehículo automotor y que implican un peligro inminente para la seguridad del vehículo, la de otros vehículos, de sus ocupantes o de los demás usuarios de la vía pública, lo que genera la obligación de llevar nuevamente el vehículo a la estación de revisión técnica, para comprobar que el defecto ha sido corregido”. (SIECA, 2009)

«La consideración o determinación del defecto que presentare cada vehículo automotor; así como la cuantificación de su gravedad o peligrosidad, no sólo estará basada en la normativa específica que regula el

elemento o mecanismo a evaluar, sino también en la legislación general que defiende el derecho supremo a la vida y el derecho fundamental de toda persona, a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y, en su conjunto, en las normas y principios del ordenamiento jurídico vigente.» (SIECA, 2009)

c. Procedimiento de inspección. Este capítulo enlista de manera detallada el procedimiento para la inspección del vehículo, determinando los detalles y características que se inspeccionarán. Así mismo, en un cuadro se detalla, para cada punto a inspeccionar, una lista de situaciones posibles, indicando de manera clara la clasificación correspondiente. En el Anexo 3 se presenta un esquema de los incisos que deben revisarse. (SIECA, 2009)

d. Infracciones y sanciones. «Las infracciones a las disposiciones al presente manual obligarán a la autoridad competente a aplicar la sanción establecida en su legislación interna, del país donde se detecte la infracción.» (SIECA, 2009)

Las sanciones a los infractores o a las unidades de transporte que comentan una infracción de acuerdo con lo establecido con este manual, consisten en:

- Multas.
- Suspensión o cancelación de matrículas, licencias, registros, permisos de operación, funcionamiento, importación.
- Inmovilización o retención del vehículo. (SIECA, 2009)

6. Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (2000). Este manual es parte del *Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes*, el cual fue aprobado por el *Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica* (COMITRAN) en el año 2001. Este acuerdo incluye además un *Catálogo de Señales Viales*, así como las especificaciones técnicas para la fabricación de las señales. Dicho acuerdo es un esfuerzo de los *Ministerios de Transporte de Centroamérica* por normar la señalización vial de manera armonizada en todas las carreteras de la región. En conjunto, está comprendido por cuatro tomos y más de 1860 páginas.

«El objetivo general del *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito* es establecer normas, criterios y recomendaciones que permitan facilitar y asegurar el movimiento ordenado, seguro y predecible de todos los usuarios de la vía, automotor, peatonal y de otra índole, a través de toda la red vial del centroamericana. El señalamiento y los otros dispositivos de control prescritos en el manual deben ser utilizados para dirigir y asistir a los conductores en las tareas de prevención, guía, orientación y navegación propias de la conducción de un vehículo automotor para garantizar el viaje seguro en cualquier obra de infraestructura vial abierta al público. El señalamiento de guía e información debe estar restringido al control del tránsito, y no se debe utilizar como un anuncio o medio de publicidad de ninguna índole.» (SIECA, 2000)

Por su parte, tiene como fin principal mejorar la seguridad vial en las carreteras centroamericanas, logrando con esto una disminución del número de accidentes de tránsito, reducción de demoras innecesarias provocadas por congestión. Esto se pretende alcanzar suministrando una orientación oportuna y completa a los usuarios de las vías, tanto nacionales como extranjeros, en forma uniforme en cualquiera de los países de la región. Así, en este manual se describen con detalle los tipos de señales horizontales, verticales y especiales para carreteras, sus materiales y normas geométricas de construcción y colocación en la vía. (SIECA, 2000)

Cabe destacar que en el año 2004 se realizó un resumen técnico del *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. En este resumen técnico se presentan en breve los temas tocados por cada uno de los capítulos del manual completo, a excepción del Capítulo 6, el cual se deja para una futura revisión. (SIECA, 2000)

a. Disposiciones generales. En este capítulo se fundamenta el resto del contenido del manual. Se presentan los antecedentes históricos referentes al *Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes*, indicando a grandes rasgos la manera de elaboración del presente manual. (SIECA, 2000)

También se incluye una subsección relacionada a los aspectos legales. En esta, se presentan los dos convenios o protocolos internacionales existentes a nivel centroamericano de señalamiento uniforme, el *Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carretera* y el *Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes*. En general, para la aplicación de este manual se deberán tener presentes las reglas de conducción, dispositivos de control y demás autorizaciones o restricciones establecidos en el marco jurídico de cada país. Por tanto, todo lo prescrito en este manual es aplicable en la medida que no contradiga las reglas de tránsito vigentes en cualquiera de los países de la región. (SIECA, 2000)

Luego de este marco legal, se toma en consideración lo referente a la publicidad y la obstrucción de las señalizaciones. Es de suma importancia tener un estricto control en lo referente a estos puntos, ya que la pérdida de efectividad en las señales de tránsito va ligada proporcionalmente con la cantidad de publicidad y distracción visual que exista cerca de las mismas. Sin embargo, la contaminación visual debido a la publicidad es cada vez mayor, afectando significativamente la eficacia de esta señalización vial. En específico cerca de áreas comerciales o de turismo las señalizaciones pierden su eficacia, puesto que al existir tanta contaminación visual, los usuarios de las vías deben invertir más tiempo en tomar decisiones, quedando menor tiempo a la reacción. Debido a esto, se especifica que dentro del derecho de vía no debería existir esta contaminación, para dejar que la señalización tenga la eficacia deseada. (SIECA, 2000)

Luego se toca el tema de Dispositivos de Control de Tránsito, teniendo estos como objetivo dirigir y asistir a los conductores en las tareas de prevención, guía, orientación y navegación propias de la conducción del vehículo automotor, con el fin de garantizar el viaje seguro en cualquier calle, camino o carretera abierta al público. Estos dispositivos se clasifican en tres categorías según su función:

- Dispositivos de Reglamentación: Informan a los usuarios sobre las disposiciones de la reglamentación de tránsito vigente y la prioridad de paso, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones que regulan el uso de la vía.
- Dispositivos de Prevención (Advertencia de peligro): Cumplen la misión de prevenir a los usuarios de la vía de peligros existentes y su naturaleza.
- Dispositivos de Información: Guían al usuario de la vía hacia el lugar de destino, proporcionándole toda información que pueda ser útil para las tareas de navegación, orientación y guía. También se proporciona información que pueda ser de interés especial a los turistas. (SIECA, 2000)

En este apartado, también se detallan los procedimientos de diseño, localización, operación y mantenimiento de los dispositivos de control de tránsito. Se incluye también una indicación del significado de cada color dentro de los dispositivos en cuestión, según los códigos de la FHWA de los Estados Unidos. Las especificaciones y límites de tolerancia para los colores se pueden verificar en el anexo D del manual. Los significados descritos son de naturaleza general y se detallan en la **Tabla 2**. (SIECA, 2000)

Aunque los colores sin asignar están reservados para uso futuro, en este manual se autoriza su uso en las señales reglamentarias con la finalidad de permitir que los usuarios asocien con un color en particular los distintos sectores geográficos servidos por el transporte público modalidad autobús, o cualquier otro que se implante a futuro, dentro de cada una de las áreas metropolitanas donde se implementen o existan sistemas integrados de transporte colectivo de pasajeros. (SIECA, 2000)

b. Señales verticales. «Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.» (SIECA, 2000)

«Desde la publicación de la versión inicial del *Manual Centroamericano de Señales Viales*, como anexo del *Acuerdo Centroamericano* de 1958, las condiciones de operación en las redes de los países del istmo han variado en forma sustancial», siendo el señalamiento vertical el que ha sufrido mayor evolución. La utilización de nuevas señales ha sido causada por tres factores principales:

- La aplicación de nuevas estrategias para mitigar la congestión en las áreas urbanas.
- Las regulaciones novedosas introducidas en las leyes o reglamentos de tránsito de cada país.
- El acelerado crecimiento de la industria turística en la región. (SIECA, 2000)

Tabla 2: Código de color en señalización

Color	Significado
Amarillo	Prevención general.
Anaranjado	Prevención de situaciones temporales, como trabajos de construcción, mantenimiento, reparaciones, atención de incidentes y emergencias.
Blanco	Regulación e información.
Negro	Regulación, prevención e información.
Rojo	Alto, prohibición o maniobra crítica.
Azul	Guía de servicios al automovilista y al turista.
Verde	Indica movimientos permitidos y guía de navegación y direcciones en vías rápidas, autopistas y ciclo vías.
Café	Guía a sitios recreativos, parques nacionales y otros de interés cultural, administrados por entes públicos sin fines de lucro.
Amarillo limón	Se autoriza su uso opcional en sustitución del amarillo, únicamente para prevenir sobre la presencia de cruces de peatones, de bicicletas y en zonas escolares, con el fin de mejorar la visibilidad de la señal en horas de baja luminosidad solar.
Morado	Sin asignar.
Celeste	Sin asignar.
Coralino	Sin asignar.

(SIECA, 2000)

Como se mencionó en el capítulo anterior, la clasificación de las señales según su funcionalidad también aplica para las señales verticales. Estas a su vez tienen su propia clasificación, cada una de las cuales se detalla en el manual en una sección específica. A su vez, se muestran algunas de estas señales en el catálogo del anexo C. Esta clasificación se muestra a continuación:

1) Señales de reglamentación (2.2): «indican sobre la prioridad de paso, existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país. La violación de la regulación establecida en el mensaje de estas señales constituye una infracción, que se sanciona con multas, el retiro de la circulación del vehículo o la suspensión de la licencia.

Las señales de reglamentación deberán ser colocadas en aquellos sitios donde se requiera la regulación y se debe evitar el uso excesivo de las mismas. El mensaje de la señal deberá indicar con claridad los requisitos impuestos por la regulación y deberán ser fácilmente visibles y legibles para los conductores.» (SIECA, 2000)

Tabla 3: Clasificación de las señales verticales de reglamentación

Clasificación	Subsección en el manual	Anexo C
Derechos y prioridad de paso	2.2.4	R-1-1 a R-1-8
Límites de velocidad	2.2.5	R-2-1 a R-2-12
Restricción de giros y maniobras	2.2.6	R-3-1 a R-3-19
Inspecciones con semáforo	2.2.7	R-4-1 a R-4-8
Carril reversible	2.2.8	R-5-1 a R-5-9
Dirección de circulación	2.2.9	R-6-1 a R-6-9
Exclusión de Flujos	2.2.10	R-7-1 a R-7-23
Estacionamiento	2.2.11	R-8-1 a R-8-31
Vías exclusivas	2.2.12	R-9-1 a R-9-14
Transporte público	2.2.13	R-10-1 a R-10-10
Zonas de seguridad y puentes peatonales	2.2.14	R-11-1 a R-11-18
Restricciones de dimensiones y pesos	2.2.15	R-12-1 a R-12-5
Restricciones de adelantamiento y otra restricciones	2.2.16	R-13-1 a R-13-8
Inspección oficial y peajes	2.2.17	R-14-1 a R-14-6
Camino cerrado y sentido obligatorio	2.2.18	R-15-1 a R-15-15
Confirmación de reglas de conducción	2.2.19	R-16-1 a R-16-6

(SIECA, 2000)

2) Señales de prevención (2.3): «previenen al tránsito de condiciones peligrosas existentes o potenciales, en la carretera o adyacentes a ella y la naturaleza de las mismas. Estas exigen precaución de parte del conductor ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe otras maniobras que redundan en su beneficio y en el de otros conductores y peatones. Las advertencias adecuadas de peligro son de gran ayuda para el conductor y muy valiosas en la prevención de accidentes y como medio de facilitar el tránsito. Sin embargo, el uso de estas señales debe limitarse al mínimo necesario, pues de lo contrario no cumplirán bien su importante función. Las señales de prevención deberán colocarse en sitios que aseguren su mayor eficiencia, tanto de día como de noche, teniendo en cuenta las condiciones particulares de la carretera, calle o camino, así como la cantidad de vehículos que transiten por la vía.» (SIECA, 2000)

3) Señales de información (2.4): «guían o informan al conductor sobre nombres y ubicación de poblaciones, rutas, destinos, direcciones, kilometrajes, distancias, servicios, puntos de interés y cualquier otra información geográfica, recreacional y cultural pertinente para facilitar las tareas de navegación y orientación de los usuarios.

Las señales de información son esenciales para guiar al conductor a lo largo de las rutas existentes. Mediante ellas los usuarios de las carreteras, se enteran de las intersecciones de rutas, de los nombres de ríos cercanos, parques y sitios históricos importantes. Su principal función consiste en suministrar al conductor toda aquella información que pueda necesitar en el camino, del modo más simple y directo.

Tabla 4: Clasificación de señales verticales de prevención

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Cambios en el alineamiento horizontal	2.3.4	P-1-1 a P-1-14
Proximidad a intersecciones	2.3.5	P-2-1 a P-2-8
Proximidad a un dispositivo de control	2.3.6	P-3-1 a P-3-7
Vías de tránsito convergentes y carreteras divididas	2.3.7	P-4-1 a P-4-6
Pasos angostos y claro vertical restringido	2.3.8	P-5-1 a P-5-11
Pendientes pronunciadas y rampas de frenado de emergencia	2.3.9	P-6-1 a P-6-9
Condiciones especiales de peligro en ciertos tramos de la vía	2.3.10	P-7-1 a P-7-35
Cruces de ferrocarril y tranvía	2.3.11	P-8-1 a P-8-6
Presencia de personas y reductores de velocidad en la vía	2.3.12	P-9-1 a P-9-14
Semovientes y otros animales o equipos en la vía	2.3.13	P-10-1 a P-10-9
Variaciones y limitaciones en la vía	2.3.14	P-11-1 a P-11-11
Delineadores y marcas de objetos	2.3.15	P-12-1 a P-12-6

(SIECA, 2000)

Este tipo de señales no pierde eficacia por el uso frecuente, al contrario de lo que sucede con las de prevención y reglamentación.» (SIECA, 2000)

a) Señales de información de identificación (2.4.3): «identifican carreteras según su número de ruta y/o kilometraje y las calles y comunidades según su nombre, son esenciales para guiar al conductor a lo largo de las rutas existentes, haciendo posible la navegación con mapas convencionales.» (SIECA, 2000)

Tabla 5: Clasificación de señales verticales de información de identificación

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Identificar rutas	2.4.3.4	II-1-1 a II-1-7b
Auxiliares	2.4.3.5	II-2-1 a II-2-10
Dirección de la ruta	2.4.3.6	II-3-1 a II-3-11
Kilometraje	2.4.3.7	II-4-1 a II-4-8
Identificar carreteras y localidades	2.4.3.8	II-5-1 a II-5-10
Itinerario para dirigirse a determinado destino	2.4.3.9	II-6-1 a II-6-6

(SIECA, 2000)

b) Señales de información de destino (2.4.4): «indican a los usuarios el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido. Su aplicación es primordial en las intersecciones en donde el usuario debe elegir la ruta a seguir según el destino seleccionado.» (SIECA, 2000)

Tabla 6: Clasificación de señales verticales de información de destino

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Vías convencionales	2.4.4.4	ID-1-1 a ID-1-9
Dirección y distancia de destinos	2.4.4.5.1	ID-2-1 a ID-2-6
Proximidad de salida	2.4.4.5.2	ID-3-1 a ID-3-6
Canalizar el tráfico	2.4.4.5.3	ID-3-7 a ID-3-36

(SIECA, 2000)

c) Señales de información de servicios y turísticas (2.4.5): «informan de la existencia y guían a los conductores hacia los servicios y centros recreativos y de actividades que están disponibles al público en la vecindad de la vía donde se encuentran instaladas las señales.» (SIECA, 2000)

d) Señales de información de áreas recreativas y parques nacionales (2.4.6): «se deberán aplicar a cualquier camino o carretera ubicada dentro o adyacente a Parques Nacionales, Reservas Biológicas, Áreas de Protección Silvestre y centros recreativos de dominio público administrados por entes públicos con o sin fines de lucro.

Estas señales se deberán utilizar en la red vial que permite el acceso a las áreas de interés recreativo, ecológico y cultural, que cuentan con servicios e infraestructura de uso múltiple. El objetivo es guiar a los conductores a un área general, y luego especificar los servicios y las actividades específicas que están a disposición del público dentro del área.» (SIECA, 2000)

Tabla 7: Clasificación de señales verticales de información de servicios y turísticas

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Servicios generales básicos	2.4.5.4	IS-1-1 a IS-1-26
Servicios turísticos generales	2.4.5.5	IS-2-1 a IS-2-27
Servicios de transporte	2.4.5.6	IS-3-1 a IS-3-14
Actividades de sol & playa y al aire libre	2.4.5.7	IS-4-1 a IS-4-14
Actividades deportivas	2.4.5.8	IS-5-1 a IS-5-11
Artesanías y sitios de interés cultural e histórico	2.4.5.9	IS-6-1 a IS-6-11
Servicios complementarios	2.4.5.10	IS-7-1 a IS-7-13

(SIECA, 2000)

Estas señales, con color de fondo café, les permite a los usuarios y turistas extranjeros distinguir cuándo se encuentran en parques, reservas y áreas de dominio público. (SIECA, 2000)

Tabla 8: Clasificación de señales verticales de información de áreas silvestres y recreativas

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Servicios e infraestructura	2.4.6.4	IR-1-1 a IR-1-11
Regulaciones y prohibiciones	2.4.6.5	IR-2-1 a IR-2-11
Actividades al aire libre	2.4.6.6	IR-3-1 a IR-3-4
Ecoturismo y hábitats	2.4.6.7	IR-4-1 a IR-4-12
Sitios de interés cultural e histórico	2.4.6.8	IR-5-1 a IR-5-3
Identificación de áreas protegidas	2.4.6.9	IR-6-1 a IR-6-6

(SIECA, 2000)

e) Señales de información de defensa civil y emergencias (2.4.7): este señalamiento «sirve para la planificación de contingencias y que ayuda durante la etapa de implementación en caso de desastre.» (SIECA, 2000)

«Las señales que se incluyen en esta sección advierten a los usuarios que hay peligro debido a contaminación, desastres o eventos naturales, o causados por el hombre y se establecen dado que estos factores no necesariamente son familiares o conocidos por todos los usuarios de las carreteras. Estas señales de emergencia no deben sustituir permanentemente ninguna otra señal estándar que se aplique en condiciones normales. Conforme las condiciones de la emergencia lo permitan, estas señales provisionales deberán ser remplazadas o reforzadas por las señales convencionales.» (SIECA, 2000)

Tabla 9: Clasificación de señales verticales de información de defensa civil y emergencias

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Ruta de evacuación	2.4.7.4	IE-1
Naturaleza de la emergencia o alerta	2.4.7.5	IE-2-1a a IE-2-10b
Área o camino cerrado	2.4.7.6	IE-3-1a a IE-3-3
Control de tránsito	2.4.7.7	IE-4 a IE-6-2b
Puestos oficiales	2.4.7.8	IE-7 a IE-10

(SIECA, 2000)

f) Señales de información general (2.4.8): «proporcionan a los usuarios información general de carácter poblacional y geográfico, así como indican nombres de obras importantes en la vía, límites políticos, ubicación de casetas de peaje y de estaciones de pesaje, puntos de inspección y facilidades para los vehículos de alta ocupación, entre otros.» (SIECA, 2000)

Tabla 10: Clasificación de señales verticales de información general

Clasificación	Sección en el manual	Anexo C
Información de carácter geográfico y división política	2.4.8.4	IG-1-1 a IG-1-11
Casetas de peaje y tarifas	2.4.8.5	IG-2-1 a IG-2-11
Facilidades para vehículos de alta ocupación	2.4.8.6	IG-3-1 a IG-3-5
Misceláneas	2.4.8.7	IG-4-1 a IG-4-3

(SIECA, 2000)

Se determina también la competencia y autoridad legal para la colocación de señales, siendo esta exclusiva de la autoridad competente de cada país, según el marco jurídico de cada estado de la región. Si en dado caso se tuvieran que colocar señales por emergencias, estas se removerán tan pronto como esas condiciones dejen de existir o se eliminen las restricciones. (SIECA, 2000)

Se hace mención de las Señales de Mensaje Variable, las cuales toman cada vez mayor protagonismo dentro de las carreteras. Estas señales, con el uso de tecnología, cambian su mensaje para informar a los usuarios sobre condiciones variables en la carretera, como lo son anticipar el cierre de la vía por motivos de trabajos de construcción o mantenimiento, de la ocurrencia de accidentes de tránsito, ente otros. Sin embargo, esta tecnología está cambiando rápidamente, por lo que en el presente manual no se especifican normas detalladas para las señales de mensaje variable. (SIECA, 2000)

Luego se dan una serie de indicaciones para las señales verticales, así como su uso. Entre estas se menciona el cuidado a tener de no instalar demasiadas señales pues pueden perder su efectividad, la importancia del uniformidad de las señales así como sus requisitos básicos, las especificaciones de diseño del anexo C de este manual, las restricciones e indicaciones de formas y colores, la estandarización de dimensiones, símbolos, letras y materiales para tener visibilidad diurna y nocturna. Además, se indica la forma estandarizada de colocación, tomando en cuenta la colocación al lado derecho de la vía y la instalación de señales elevadas, los ángulos de colocación, los postes con sus fundaciones y las estructuras de montaje de ensamble. (SIECA, 2000)

También se dictan ciertas especificaciones acerca de los claros libres verticales y laterales mínimos con los que deben contar las señales verticales, para no interferir con los usuarios de las vías, ni el buen funcionamiento de las mismas. (SIECA, 2000)

Por último, en esta subsección se dan una serie de indicaciones para el cumplimiento de la inspección y mantenimiento de las señales, tomando en consideración el control de vandalismo. (SIECA, 2000)

c. Demarcación en el pavimento. Este tipo de señalización está constituido por las líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o

adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. (SIECA, 2000)

Estas señales tienen varias funciones. En algunos casos, son usadas como complemento de las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como señales verticales o semáforos. En otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas claramente comprensibles. (SIECA, 2000)

Este tipo de señalización tiene la limitante que en pavimentos húmedos existe escasa visibilidad, así como su rápido desgaste. Sin embargo, cuentan a su favor con la importante ventaja de que, en circunstancias favorables, aumentan considerablemente la seguridad de los automovilistas puesto que les indican regulaciones y advertencias sin que por ello aparten su atención de la carretera. (SIECA, 2000)

La clasificación de este tipo de señales se hace según su uso:

1) Demarcación de pavimentos (3.2):

Tabla 11: Clasificación de demarcación de pavimentos y bordes de pavimentos

Clasificación	Sección en el manual
Líneas centrales o líneas divisorias de sentido de circulación	3.2.1
Líneas de carril	3.2.2
Demarcación de zonas de adelantamiento prohibido	3.2.3
Líneas de borde de pavimento	3.2.4
Transiciones en el ancho del pavimento	3.2.5
Líneas de canalización	3.2.6
Demarcación de aproximaciones a obstáculos	3.2.7
Capta luces	3.2.8
Líneas de giro y flechas direccionales	3.2.9
Líneas de parada	3.2.10
Líneas de pasos peatonales	3.2.11
Aproximaciones a cruces de ferrocarril	3.2.12
Demarcación de zonas para estacionar	3.2.13
Palabras y símbolos demarcados en el pavimento	3.2.14
Demarcaciones que controlan el uso de carriles	3.2.15
Otros dispositivos y marcas auxiliares	3.2.16

(SIECA, 2000)

2) Demarcación para indicar restricción de estacionamiento (3.3): «podrán ser líneas de color amarillo, rojo, verde o azul, según su función, cubriendo la cara y la parte superior del borde, en caso de que existe acera, o marcando una línea en la superficie del pavimento, en caso contrario. Es importante

indicar que el color blanco no se debe utilizar en la demarcación de estacionamiento restringido.» (SIECA, 2000)

Se determina también la competencia y autoridad legal para la demarcación del pavimento, siendo esta exclusiva de la autoridad competente de cada país, según el marco jurídico de cada estado de la región. (SIECA, 2000)

Se hace mención de la importancia de la uniformidad en la demarcación en el pavimento. Esto incluye el diseño, localización y aplicación, de manera que se simplifique la labor del usuario para reconocerla y entenderla instantáneamente. (SIECA, 2000)

Tabla 12: Significado del color de las líneas para demarcar zonas de estacionamiento

Color	Significado
Amarillo	“Prohibido el estacionamiento”, sujeto a cierto horario o a ciertas condiciones que deberán definirse mediante las señales verticales R-8-1 a R-8-6.
Rojo	“Prohibido estacionar y detenerse” durante las 24 horas del día, todos los días, sin ninguna excepción. Esta demarcación se deberá emplear en zonas críticas, y donde estacionar está legalmente prohibido.
Verde	“Estacionamiento permitido”, sujeto a un límite de tiempo, a cierto horario o a ciertas condiciones que deberá definirse mediante señales verticales R-8-26 a R-8-28.
Azul	“Zona de estacionamiento exclusiva para discapacitados, ancianos o mujeres embarazadas” durante las 24 horas del día, todos los días. Debe realizarse pintando la franja de color azul sobre el borde de la acera a lo largo de toda el área destinada para ese fin, y además, debe colocarse la señal R-8-29 a R-8-31 según corresponda.

(SIECA, 2000)

Todas las marcas en el pavimento que no tengan aplicabilidad conforme a lo prescrito en el manual y puedan causar confusión a los usuarios deben ser removidas. De la misma forma, si una marca indica alguna condición especial de la vía o alguna restricción, debería eliminarse cuando esta condición deje de existir. (SIECA, 2000)

Luego se dan una serie de indicaciones para la demarcación del pavimento. Entre estas se mencionan los requisitos básicos para la demarcación, las especificaciones de diseño, las restricciones e indicaciones de formas y colores, la estandarización de dimensiones, símbolos, letras y materiales para tener visibilidad diurna y nocturna. Además, se indican los significados de las líneas longitudinales, según su color y continuidad. (SIECA, 2000)

Por último, en esta subsección se especifica que la frecuencia con que se repiten las demarcaciones por mantenimiento, depende del tipo de superficie, la composición y tasa de aplicación de la pintura, el clima y el volumen de tránsito. Se recalca la importancia de pintar, con cuidado y precisión, sobre las marcas antiguas, para que no aparezcan cada vez más enmendadas. (SIECA, 2000)

d. Semáforos. «Son dispositivos para el control del tránsito mediante los cuales se regula y ordena el movimiento de vehículos y peatones en calles y carreteras, a fin de que paren y procedan en forma alterna, por medio de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad de control.» (SIECA, 2000)

Según el mecanismo de operación de sus controles, los semáforos se clasifican en las siguientes categorías. En el manual se explican las ventajas y desventajas del uso de semáforos para cada caso, así como cuándo y dónde se utilizarán. También se indican las indicaciones para su diseño. (SIECA, 2000)

1) Semáforos para el control del tránsito de vehículos (4.2):«Los semáforos sólo regularán directamente el tránsito en la intersección en que están instalados o bien en aquellos sitios en que se requiera a mitad de la cuadra.» (SIECA, 2000)

a) Semáforos pre-fijados, pre-sincronizados, de tiempos predeterminados o no accionados por el tránsito (4.2.8).

b) Semáforos accionados o activados por el tránsito (4.2.9).

- Totalmente accionados.
- Parcialmente accionados. (SIECA, 2000)

2) Semáforos para pasos peatonales (4.4):«son dispositivos instalados con el propósito exclusivo de dirigir el tránsito de peatones en intersecciones reguladas por semáforos.» (SIECA, 2000)

a) En zonas de alto volumen peatonal (4.4.3).

b) En zonas escolares (4.4.4).

3) Semáforos especiales (4.5):

a) Semáforos de destello o intermitentes (4.5.2):«tienen uno o varios lentes de color amarillo o rojo que se iluminan intermitentemente.» (SIECA, 2000)

Para la función que desempeñan existen distintos tipos de semáforos de destello:

- Para indicar peligro (4.5.2.3)
- Para regular la velocidad (4.5.2.4)
- Para intersecciones (4.5.2.5)
- De ALTO (4.5.2.6)

b) Semáforo para regular el uso de carriles (4.5.3): «son semáforos elevados especiales que permiten o prohíben el uso de carriles específicos de una calle o autopista en un determinado sentido de circulación, o que indican que a una corta distancia se prohíbe el uso de dichos carriles.» (SIECA, 2000)

c) Semáforo para puentes levadizos (4.5.4): «controlan el movimiento de vehículos en los accesos de puentes que presentan un tramo levadizo, otorgando el derecho de paso o deteniendo a los conductores, ya sea que se permita o no la circulación sobre el puente.» (SIECA, 2000)

d) Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia (4.5.5): se trata de una adaptación especial de semáforos convencionales, que se utilizan únicamente en intersecciones cercanas a hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, etc. (SIECA, 2000)

e) Semáforos y barreras para indicar la aproximación del ferrocarril (4.5.6): «en los cruces ferroviarios de carreteras, donde un estudio de ingeniería de tránsito indique la necesidad de controlar el cruce, deben utilizarse semáforos, los mismos pueden complementarse con barreras que se extiendan a lo ancho del carril de tránsito en el acceso al cruce, para impedir la circulación de vehículos cuando se aproxima y pasa un tren.» (SIECA, 2000)

Luego se explican las características de los elementos que componen un semáforo, siendo estas la cabeza, soportes, cara, lente y visera. También se dan las indicaciones para su respectivo mantenimiento. (SIECA, 2000)

En la sección 4.3 del manual se indican los requisitos para justificar el uso de semáforos, comenzando por un estudio de ingeniería de tránsito y posteriormente comparar los resultados con los criterios prescritos en el manual. Distintos tipos de control tienen distintas capacidades. En general, «si un volumen es relativamente bajo, se debe utilizar control de ALTO para no introducir demoras innecesarias a los usuarios de la vía principal. Si el volumen de una intersección alcanza niveles moderados, con una rotodna se puede lograr mayor fluidez y evitar demoras innecesarias que producen un semáforo, en particular, fuera de las horas punta. Cuando los volúmenes alcanzan niveles altos, es probable que un semáforo pueda proporcionar más capacidad que cualquier otro tipo de control, ya que normalmente el semáforo es superado sólo por la capacidad obtenida mediante intercambios y pasos a desnivel». (SIECA, 2000)

Así, la investigación para determinar la necesidad del semáforo debe incluir, en lo posible, un análisis de los factores contenidos en las siguientes condiciones, detalladas a profundidad en distintas secciones del manual:

- Condición A: Volumen mínimo de vehículos (4.3.2.1).
- Condición B: Interrupción de la continuidad del tránsito (4.3.2.2).
- Condición C: Volumen mínimo de peatones (4.3.2.3).

- Condición D: Pasos peatonales en escuelas (4.3.2.4).
- Condición E: Movimiento o circulación progresiva (4.3.2.5).
- Condición F: Antecedentes y experiencia sobre accidentes (4.3.2.6).
- Condición G: Condiciones del sistema (4.3.2.7).
- Condición H: Combinación de las condiciones anteriores (4.3.2.8).
- Condición I: Volúmenes en cuatro horas (4.3.2.9).
- Condición J: Demora en hora pico (4.3.2.10).
- Condición K: Volumen en hora pico (4.3.2.11).(SIECA, 2000)

e. Demarcación de islas en el pavimento. «Una isla de control de tránsito es una zona definida entre carriles de tránsito para el control de los movimientos de vehículos o para refugio de peatones. Dentro del área de una intersección, un refugio u otra separación exterior se considera como una isla. (SIECA, 2000)

Una isla puede designarse mediante pintura, barras verticales, tachuelas en forma de hongos, postes, bordes del pavimento u otros dispositivos. Para propósitos de este manual, una isla constituye no sólo el área designada, sino también todas las protecciones en las salidas y accesos. (SIECA, 2000)

Las islas constituyen parte integral del diseño geométrico de calles y carreteras, debiéndose incluir en los proyectos generales de construcción. Sin embargo, a veces puede ser necesario instalar una isla en una intersección ya existente, con el fin de mejorar o corregir el diseño inadecuado. El manual hace más hincapié en las características del control de tránsito mediante islas que en sus detalles de diseño. Sin embargo, se recomiendan ciertas especificaciones mínimas en su diseño. (SIECA, 2000)

El estudio de las islas que hace este Manual se refiere principalmente a instalaciones urbanas y sub-urbanas que generalmente están ubicadas en áreas de carreteras relativamente restringidas o en intersecciones.» (SIECA, 2000)

También las islas pueden clasificarse según su funcionalidad, desarrollándose en una sección específica del manual cada una:

1) Islas de refugio para peatones (5.1.3): proporciona un lugar seguro para los peatones que no puedan cruzar todo el ancho de la calzada de una sola vez, debido al cambio de la indicación del semáforo o a los vehículos que se acercan. (SIECA, 2000)

2) Islas para división del tránsito (5.1.4): se utilizan con varios propósitos, entre ellos, separar el tránsito opuesto en una intersección, separar el tránsito en una misma dirección con destinos distintos, o para guiar el tránsito alrededor de un obstáculo en la calzada. (SIECA, 2000)

3) Islas para la canalización del tránsito (5.1.5): «controla y dirige al conductor hacia el carril apropiado para su ruta, asegurando así la operación segura y eficiente de la intersección. Se instalan en áreas, que de otra manera serían necesarias amplias expansiones de pavimento, para lograr el flujo ordenado del tránsito que se desea.» (SIECA, 2000)

Luego, en este capítulo del manual, se especifica la sección del diseño de islas, tomando en cuenta los elementos específicos para cada caso, siendo estos:

- Islas de refugio para peatones (5.2.1.1)
- Islas para división del tránsito (5.2.1.2)
- Islas para la canalización del tránsito (5.2.1.3)

f. Dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías. En este capítulo se tratan las indicaciones especiales necesarias para realizar trabajos en las vías. Esto con el objetivo de resguardar la seguridad tanto de los usuarios de las vías como de los trabajadores en las obras. (SIECA, 2000)

Se especifican los elementos necesarios del control temporal del tránsito, detallando cada aspecto en una sección del manual, entre los que destacan:

- 1) Planos de control de tránsito (6.3.1)
- 2) Definición de los componentes de las zonas de control temporal de tránsito (6.3.2)
 - Área de prevención (6.3.2.1)
 - Área de transición (6.3.2.2)
 - Área de actividad (6.3.2.3)
 - Área de finalización (6.3.2.4)

Así, para cada caso se indican todas las especificaciones de diseño, incluida la señalización vertical y demarcación sobre el pavimento, con el objetivo de realizar el área que se va a controlar de la manera más segura posible para todas las personas involucradas. (SIECA, 2000)

g. Control de tránsito en zonas escolares. Este capítulo es muy parecido al anterior y al siguiente, pues tratan sobre casos específicos en los cuales se debe prestar mucha atención al diseño de estos tramos, para resguardar a los usuarios de las vías, tanto vehículos como peatones. (SIECA, 2000)

Aquí se especifican las normas de diseño y señalización para los tramos de zonas escolares, indicando los cuidados que se deben de tener para mantener la seguridad de los peatones, en su mayoría estudiantes. (SIECA, 2000)

También se determinan los casos específicos donde se deberán contar con distintos controles y accesorios para la seguridad, como lo son pasarelas o controles específicos del tránsito vehicular. (SIECA, 2000)

h. Control de tránsito en rutas de bicicletas. «Este capítulo cubre los dispositivos de control relacionados con el uso de bicicletas, tales como señales, demarcación en el pavimento y semáforos que pueden ser utilizados en carreteras o en sendas para bicicletas.» (SIECA, 2000)

Así, como en el capítulo anterior, se trata el caso específico de la vialidad de las bicicletas, contando con especificaciones de diseño y control para resguardar la seguridad de estos usuarios. En general, se especifica la señalización, tanto vertical como demarcación del pavimento para estos casos. (SIECA, 2000)

C. Análisis de manuales de SIECA

La Secretaría de Integración Económica Centroamericana busca, entre otros objetivos, el mejoramiento de la red vial de la región, para incrementar así la economía y las oportunidades comerciales. Para lograrlo debe poner esfuerzos en mejorar la seguridad vial. Es por esto que se realizará un breve análisis de los distintos manuales de SIECA en los que se toca el tema de seguridad vial, para identificar la información que se tiene y lograr desarrollar propuestas concretas para ampliar y mejorar el tema de seguridad vial.

1. Manual centroamericano de seguridad vial. El *Manual centroamericano de seguridad vial* se enfoca en normativas a crear y cumplir, algunas de estas ya existentes en los países centroamericanos y otras aún no. Las normativas se clasifican en tres capítulos, enfocadas al marco gubernamental, los dispositivos de seguridad vial y la infraestructura y entorno vial. Sin embargo, las normativas presentadas o propuestas son de carácter general, demasiado amplias. También se puede observar que muchos de los incisos están relacionados entre sí.

Siguiendo con el enfoque hacia normativas, se sugiere utilizar estos listados como un índice de temas a detallar en otros manuales, futuros o ya existentes. Así, por ejemplo, en el marco gubernamental, en el inciso *iv* se sugiere el establecimiento de algunos indicadores; este punto podría referirse a otro pequeño manual donde se indique el procedimiento para elaborar algunos indicadores. De la misma manera con el inciso *v*, el cual propone establecer un sistema de información único; se sugiere utilizar este punto para desarrollar un manual de cómo crear un sistema único de información (este tema se desarrollará más adelante). En las normas dirigidas a los dispositivos de seguridad, los incisos *1*, *5* y *6* también se logran con un sistema unificado de información; el inciso *x* se refiere al *Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos*; y los incisos *11* y *12* se refieren al *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Por último, en las normas dirigidas a la infraestructura vial, la mayoría de los incisos se refieren a algún punto del diseño geométrico, temas que se incluyen en el

nuevo *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico con Gestión de Riesgo y Seguridad Vial*.

Como se puede observar, la gran mayoría de incisos para las normativas presentadas ya se incluyen, o se pueden desarrollar, dentro de otros manuales. Así, se propone ampliar este manual, o ya sea crear uno nuevo, con toda la *Normativa Vial*, enfocada a los tres factores del tránsito, que son el usuario, el vehículo, la infraestructura y las relaciones que se desarrollan entre los mismos; siendo este una especie de índice para el resto de manuales referentes al tema de la seguridad vial.

2. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Luego, el *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales* en su último capítulo, titulado *Elementos Básicos de Diseño para el Mejoramiento de la Seguridad de las Carreteras*, presenta algunos criterios básicos de diseño que se deben tener presentes para contribuir al mejoramiento de la seguridad vial. También se especifican algunos de estos detalles para carreteras rurales, urbanas y suburbanas. Por último se tocan los temas de mantenimiento, instalación de servicios dentro de la vía y desastres naturales.

Dentro de este manual, el enfoque de diseño del manual completo debería ser hacia la seguridad vial, pues en todo el proceso de planificación y diseño se debe dar la debida importancia a la evaluación de riesgos y la seguridad vial, como bien se menciona al tratar el tema de los desastres naturales.

Sin embargo, el presente manual ha sufrido recientemente una actualización, enfocado todo el manual a este tema, por lo que no se discutirá más sobre el mismo.

3. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. Dentro del *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* el tema de seguridad vial se encuentra presente únicamente al tratar el tema de dispositivos de control del tráfico, siendo estos permanentes o temporales, y en el tema de marcación sobre el pavimento.

Dentro de este manual sería necesario crear referencias a otros manuales con respecto a los temas de gestión de riesgo y seguridad vial. Para tratar los temas del diseño mismo de la carretera y los puentes se puede hacer referencia al *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico con Gestión de Riesgo y Seguridad Vial*. Luego, con los temas referentes a señalización se refiere al *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Un claro ejemplo de esta idea, de referenciar los temas de gestión de riesgo y seguridad vial, se presenta en el *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes*, donde los temas de seguridad no se tocan, sino se refieren a otros manuales.

4. Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes. El *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes*, como ya se mencionó, todos los temas de seguridad vial se referencian hacia otros manuales. Al no ser este tema el principal dentro del manual, es correcta la utilización de referencias, sirviendo de ejemplo para los demás manuales que no sean enfocados a la seguridad vial.

5. Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos. Dentro del *Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos* se encuentra detallado el procedimiento para realizar la revisión mecánica del vehículo. Este manual es un buen ejemplo de lo que podrían llegar a ser todos los manuales, pues presenta un procedimiento concreto y detallado de lo que se pretende realizar para lograr los objetivos.

Este manual puede cubrir parte de la normativa referente al vehículo y su relación con la infraestructura, puesto que restringe los “usuarios motorizados” que pueden utilizar las vías según las características que estos presenten. Con esto se logra mejorar la calidad de los vehículos que circulan y evita gran cantidad de problemas debidos a vehículos en mal estado, que pueden provocar desde simples demoras en tiempo hasta accidentes con consecuencias fatales.

6. Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. El *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito* es un documento de por sí muy completo; y cabe destacar, que es parte del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Viales Uniformes. Este manual busca facilitar el movimiento ordenado, seguro y predecible de todos los usuarios de la vía, a través del establecimiento de normas, criterios y recomendaciones. Se incluye dentro de sus anexos varios catálogos con imágenes de las señalizaciones así como algunas de sus medidas básicas.

Para mejorar este manual, podría tomarse de ejemplo el manual de señalización de tránsito de algún otro país, por ejemplo el chileno o el colombiano. Revisando el *Manual de Señalización de Tránsito* de Chile, específicamente el capítulo sobre señalización vertical, se observan algunos de detalles a tomar podrían tomarse en cuenta. Al comenzar el capítulo, se realiza una profunda clasificación de toda la señalización vertical, utilizando esta clasificación como esquema del resto del contenido. Esto es algo que se observa en el manual de la SIECA pero a un nivel muy general. También puede observarse el detalle que se pone en el dimensionamiento de cada señal, así como su ubicación en el tramo carretero, dejando muy poco espacio a la equivocación (algunos ejemplos de esto se encuentran en el anexo 3 del presente trabajo).

7. Otros temas. En general, se propone la creación de una *Normativa Vial*, similar a la presentada en el *Manual centroamericano de seguridad vial*, pero estructurada desde un enfoque al concepto del tránsito. Es decir, una *normativa vial* que contenga una clasificación clara, donde se incluya, entre otros, los tres factores que componen el tránsito (usuario, vehículo e infraestructura) y las relaciones entre estos.

Por ejemplo, el *Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos* se enfoca en las características que un vehículo debe tener para la utilización de la infraestructura. Un manual con los requisitos para la administración y entrega de licencias de conducir a los usuarios podría ser considerado dentro de la categoría que se refiere a los usuarios. El *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico con Gestión de Riesgo y Seguridad Vial* y el *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito* se refieren a la infraestructura en sí.

Por otro lado, también son necesarios manuales para el control e inspección de carreteras. Con este objetivo se propone la creación de un *Manual Centroamericano para la Realización de Auditorías Viales*, donde se incluyan especificaciones y procedimientos claros y detallados sobre la inspección de las carreteras, para mejorar la seguridad vial desde su etapa de diseño.

También se propone la creación de un *Manual Centroamericano de Sistemas de Información de Seguridad Vial*, con el objetivo de promover la recopilación y administración adecuada de información de alta calidad sobre los hechos de tránsito. Al obtener información detallada, ordenada y de calidad referente a los “síntomas” de un problema en un tramo carretero, se pueden enfocar de mejor manera los recursos para solucionarlo de manera eficaz.

Los dos temas propuestos para la creación de futuros manuales se presentan, de manera breve, a continuación.

D. Auditorías de seguridad vial

Luego de la revisión detallada de los distintos manuales de la *Secretaría de Integración Económica Centroamericana*, en lo referente a la *Seguridad de la Infraestructura Vial en las Carreteras*, se observó la ausencia de temas importantes para mejorar la calidad del servicio prestado a los usuarios. Entre estos temas se encuentran las auditorías de seguridad vial en las carreteras y las bases de datos sobre hechos de tránsito, temas que se introducirán a continuación.

1. Definición. Existen diversas definiciones para una Auditoría de Seguridad Vial, entre las que destaca la definición dada por la *Austroads*, encontrada en la mayoría de documentos referentes al tema. «*Austroads* define una Auditoría de Seguridad Vial como un “examen formal de un proyecto de tráfico o de camino futuro, un camino existente, o cualquier proyecto que interactúe con los usuarios de la vía, en la cual un examinador calificado e independiente, informe sobre el potencial del proyecto para los accidentes viales y el desempeño de la seguridad”.» (Speier, 2006)

Así, la Auditoría de Seguridad Vial es un procedimiento sistemático que aporta los conocimientos de seguridad vial para prevenir los accidentes de tránsito. Como lo describe el *Asian Development Bank* “la Auditoría de Seguridad Vial es una evaluación sistemática formal de la seguridad vial o el ‘chequeo’ de una carretera o un plan de carreteras. Esto suele llevarse a cabo por un auditor independiente calificado o por un equipo de auditores que reportan sobre las formas de minimizar los riesgos para los usuarios. Estos auditores pueden ser expertos en seguridad dentro de la autoridad vial o consultores externos especializados.” (Asian Development Bank, 2003)

Pero en general, al diseñar y evaluar proyectos de carreteras se realiza un análisis tradicional sobre la seguridad vial en estos. Entonces ¿por qué invertir en una auditoría de seguridad vial?

Existen algunas diferencias en las auditorías de seguridad vial que ayudan a contestar la pregunta realizada, las cuales se ejemplifican mejor en la **Tabla 13** (Estados Unidos, 2006). Además de estas diferencias, en la mayoría de lugares y artículos que se habla sobre el tema, se destaca la reducción de costos a largo plazo que se adquieren al realizar estas auditorías. Esto es debido a que se logran corregir escenarios, ya sea en etapa de diseño o uso, que pueden provocar o están provocando gran cantidad de accidentes viales. Corrigiendo estos problemas desde su raíz, se ahorran los costos provocados por los accidentes en sí, y si se realizan desde la fase de diseño, se ahorran también los costos de reparación en un futuro. Adicional a los costos monetarios, al mejorar la seguridad vial de una carretera se ahorran vidas humanas que pueden perderse en algún punto crítico de una carretera mal diseñada.

Tabla 13: Diferencias entre auditorías de seguridad vial y revisiones de seguridad tradicionales

Auditoría de seguridad vial	Revisiones de seguridad tradicionales
Realizado por un equipo independiente del proyecto	Generalmente no es completamente independiente del equipo de diseño
Realizado por un equipo multidisciplinario	Típicamente realizado por un equipo con sólo expertos en diseño y/o seguridad
Considera todos los usuarios viales potenciales	A menudo se concentra en el tránsito motorizado
Las capacidades y limitaciones de los usuarios de las carreteras es un elemento esencial de una auditoría de seguridad vial	En las revisiones de seguridad normalmente no se consideran factores humanos
Siempre genera un reporte formal de la auditoría de seguridad vial	Usualmente no genera un reporte formal
Un reporte de respuesta formal es un elemento esencial de las auditorías de seguridad vial	Usualmente no genera un reporte de respuesta formal

(Estados Unidos, 2006)

En el Reino Unido, el *Lothian Regional Council* ha estimado la relación de costo-beneficio de una auditoría de seguridad vial en 15:1, mientras *TRANSIT* de Nueva Zelanda ha estimado una relación de costo-beneficio de 20:1. Como se puede observar, existe evidencia en países desarrollados que indican

beneficios significativos pueden resultar de introducir procedimientos de auditoría de seguridad vial. Cabe destacar que la relación costo-beneficio de dicho trabajo en los países en desarrollo es probable que sea aún mayor, por la posibilidad de evitar problemas graves de seguridad aún mayores en los países en desarrollo, donde las redes viales y los diseños viales se encuentran todavía en una etapa previa de desarrollo. (Asian Development Bank, 2003)

En muchos casos se malinterpreta el papel y la naturaleza de una auditoría de seguridad vial, confundiendo esta con el control de calidad del diseño. Como lo menciona la FHWA «El cumplimiento de las normas de diseño, si bien es importante, no resulta necesariamente en un diseño de seguridad vial óptimo y, por el contrario, el no cumplimiento de las normas de diseño, no resulta necesariamente en un diseño inaceptable desde la perspectiva de seguridad vial». Por este motivo, en su manual de auditorías además de presentar *lo que es* una auditoría de seguridad vial, también presentan *lo que no es*, las cuales se presentan en la **Tabla 14**. (Estados Unidos, 2006)

Tabla 14: Qué son y qué no son las auditorías de seguridad vial

Las auditorías de seguridad vial SON:	Las auditorías de seguridad vial NO SON:
<ul style="list-style-type: none"> • Enfocadas a las seguridad vial • Una evaluación formal • Proactivas de naturaleza • Realizadas por un equipo multidisciplinario (más de un auditor) • Realizadas por un equipo auditor independiente del equipo de diseño • Realizadas por un equipo auditor calificado adecuadamente, individualmente y como equipo • Suficientemente amplio para considerar la seguridad y facilidades de todos los usuarios de la vía • Cualitativo de naturaleza 	<ul style="list-style-type: none"> • Un medio para evaluar, alabar o criticar un trabajo de diseño • Un chequeo de cumplimiento de normas • Un medio de clasificar o justificar un proyecto sobre otro • Un medio de calificar una opción de diseño sobre otra • Un rediseño e un proyecto • Una investigación o análisis de accidentes (aunque la historia de una vía existente es revisada para verificar que los patrones de accidentes anteriores se han abordado) • Una revisión de seguridad

(Estados Unidos, 2006)

Es importante destacar que una auditoría de seguridad vial no resuelve todos los problemas, pero sí los señala. La auditoría de seguridad vial es solamente un chequeo de varios aspectos referentes a la seguridad vial y no está a cargo de supervisar si cierta norma se ha seguido o comprobar si el drenaje, la estructura, y otros elementos son apropiados para una carretera y ubicación específica. (Asian Development Bank, 2003)

En algunos casos existirán conflictos entre la necesidad de incrementar la capacidad a un bajo costo y las necesidades de seguridad para los usuarios de las vías. La auditoría de seguridad vial no puede resolver estas cuestiones, pero puede señalarlas para que las decisiones sean tomadas con una comprensión más completa de las consecuencias potenciales de dicha decisión. (Asian Development Bank, 2003)

2. Alcances y objetivos. «El objetivo principal de una Auditoría de Seguridad Vial es revisar que las condiciones de seguridad vial en que se está diseñando, construyendo u operando una obra vial cubre adecuadamente los requerimientos de seguridad de todos los usuarios de la ruta, para lo cual verificará si el cumplimiento de las normativas y disposiciones legales vigentes es suficiente o se requiere de otro tipo de medidas.» (Bolivia s.f.)

«Otros objetivos son destacar e informar acerca de riesgos puntuales o sectoriales existentes en la carretera que se audite y contribuir a minimizar los costos de probables modificaciones que pudieren ser necesarias para mitigar riesgos potenciales de accidentes durante la explotación de la vía.»(Bolivia s.f.)

Según los objetivos presentados, se deja en claro que los alcances de una auditoría de seguridad vial no sólo es analizar puntos negros o áreas problemáticas, sino que también determina procedimientos a seguir para reducir los riesgos que se presenten en la vía, centrándose exclusivamente en aspectos de seguridad vial. La auditoría se realiza sobre un proyecto que cumple con los niveles básicos de todo estudio de ingeniería, por tanto no le corresponde efectuar revisiones correspondientes a distintas capacidades. No obstante, si durante el proceso de auditoría se destacasen problemas con algún elemento del proyecto, se debe mencionar la situación en el reporte. (Bolivia s.f.)

«Entre los beneficios que se obtienen cuando los proyectos viales son debidamente auditados en seguridad vial, se pueden indicar:

- Reducción de riesgos de accidentes.
- Menor severidad en efectos de accidentes en las rutas auditadas.
- Prevención de riesgos.
- Minimizar inversiones en obras de seguridad vial durante la vida útil del proyecto.
- Elevar el nivel de conciencia acerca de la importancia de la ingeniería de seguridad vial y de la consecuente inversión en seguridad vial en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto vial.» (Bolivia s.f.)

3. Características principales. Una adecuada auditoria de seguridad vial deberá presentar las siguientes características:

- Procedimiento formal: dispone de un procedimiento sistemático en su realización, no dejando acciones a la improvisación o a la ocurrencia del auditor.

- Proceso independiente: los participantes del equipo que realizará la auditoría, no deberán tener participación o influencia en el diseño o construcción del proyecto, para no influir en la objetividad del proceso durante la ejecución de los chequeos de control.
- Experiencia y entrenamiento necesario: los participantes del equipo auditor deberán ser profesionales del área de la ingeniería con conocimientos en materias de seguridad vial y diseño geométrico, con la finalidad de que sus evaluaciones sobre la seguridad vial permitan definir acertadamente las acciones correctoras a seguir.
- Centrarse en aspectos de seguridad del camino: se proveerá de un listado de deficiencias relacionadas con la seguridad del camino y de las posibles medidas de mitigación o recomendaciones para atender los problemas observados.
- Entrega de reportes formales: las comunicaciones y reporte final de la auditoría deberán quedar por escrito y serán entregados a la autoridad competente a cargo de las decisiones sobre esta materia. (Bolivia s.f.)

4. Etapas de una auditoría de seguridad vial. Es preferible llevar a cabo la auditoría de seguridad vial en varias etapas sucesivas del proceso de planificación, diseño e implementación de un proyecto vial. Las siguientes cinco etapas de auditoría se utilizan normalmente para asegurar que las necesidades de todos los usuarios se consideran en cada etapa del proceso de planificación y diseño. Además, los auditores no sólo deben consultar con los diseñadores y visitar el sistema, sino también se debe consultar con las diversas comunidades a través del cual pasan las carreteras. (Asian Development Bank, 2003)

Hay que recordar que «las mejores obras de seguridad vial son aquellas que no es necesario incluir porque el diseño obtenido resulta seguro en sí mismo». (Bolivia s.f.)

A continuación se describen las distintas fases del ciclo de vida de un proyecto en donde es recomendable aplicar una auditoría de seguridad vial por etapas:

a. Etapa 1: Planeación. Una auditoría de seguridad vial en esta etapa se ocupa de los aspectos de seguridad vial del diseño inicial, y cubre una amplia gama de temas, como lo son la elección de la alineación de la ruta, el número y tipos de accesos, servicio a las comunidades locales, impacto sobre la red existente, instalaciones, entre otras características generales de la operación del proyecto. (Asian Development Bank, 2003)

En esta etapa se definen los alcances que tendrá la seguridad, el propósito del proyecto, y cómo se cubrirán las necesidades de los usuarios (peatones, ciclistas y vehículos). El nivel de acercamiento es global. (Bolivia s.f.)

b. Etapa 2: Diseño preliminar. Se realiza una auditoría de seguridad vial del esquema de diseño previa a que este sea aprobado por el gobierno y las asignaciones presupuestarias para el diseño y la construcción. (Asian Development Bank, 2003)

En esta etapa de diseño preliminar se evalúan los diseños generales, alineamientos horizontales, verticales, intersecciones y tipo de intersecciones, desarrollos y distancias de visibilidad, pistas y bermas, superestructuras, provisiones para peatones y ciclistas, entre otros. Es esencial incorporar la idea de que la propia vía debe transmitir al conducto las condiciones básicas que ha de encontrar en su recorrido, tratando de que no se produzcan cambios bruscos o inesperados. Cualquier efecto sobre la seguridad que resulte de la desviación de los estándares definidos para el proyecto es anotado en este punto. Después de esta etapa es muy difícil realizar cambios en el alineamiento, ya que los procesos de expropiación o adquisición de tierras han terminado. (Bolivia s.f.)

c. Etapa 3: Diseño detallado. Se encuentran disponibles el diseño geométrico en planta y elevación, plan de señalización vertical y horizontal, proyecto de iluminación, de barreras de contención y medio ambiental. El análisis de los mismos debe ser enfocado al funcionamiento de la ruta. (Bolivia s.f.)

Una auditoría de seguridad vial debe examinar de forma detallada la integración de todas las partes del diseño, buscando identificar riesgos potenciales como resultado de combinaciones adversas de distintos elementos de diseño (por ejemplo del alineamiento horizontal y vertical). (Asian Development Bank, 2003)

«Todos los elementos del diseño final deben ser ubicados en esta etapa. Una detallada auditoría del diseño geométrico final, de los semáforos, de las señales y demarcaciones, planos de iluminación, áreas a ambos lados del camino, detalle de intersecciones, estructuras, provisiones para usuarios especiales (ancianos, peatones, discapacitados, ciclistas y niños), drenaje, pistas de acceso y otros elementos existentes en el borde del camino son cuidadosamente revisados. Se incluyen algunos aspectos de gestión de tráfico y proyectos de seguridad durante la construcción.» (Bolivia s.f.)

«El auditor deber recoger toda la información necesaria para evaluar la seguridad vial. Esto incluye, bases de licitación del estudio de ingeniería, informes existentes elaborados por el consultor, auditorías a las etapas previas, proyecto en archivo digital, proyecto de seguridad vial, planos y sus modificaciones, etc. Puede ser necesario recoger información adicional, como volumen y composición del tránsito, accidentalidad, clima, etc.» (Bolivia s.f.)

d. Etapa 4: Construcción. «Esta auditoría se realiza inmediatamente antes de la finalización de las obras, sobre todo si han sido construidas con tránsito abierto, en distintas situaciones relevantes, de día y de noche, para verificar que la construcción se ha realizado de acuerdo a los planos del proyecto y para revisar que no existe ninguna condición o situación peligrosa que no haya sido advertida en las auditorías previas.» (Bolivia s.f.)

Debe prestarse especial atención a comprobar que las necesidades de todos los usuarios de la carretera, incluidos peatones, ciclistas y usuarios no motorizados, hayan sido adecuadamente atendidas. Esta auditoría certifica que la seguridad de todos los usuarios ha sido considerada y que las condiciones de riesgo han sido eliminadas. (Asian Development Bank, 2003)

«La mayor atención en esta etapa debe ponerse a las diferencias o variaciones entre los planos originales y lo que se ha construido. Además de evaluar las posibles modificaciones realizadas, será necesario comprobar que la localización y estado del equipamiento dispuesto: barreras, señalización, balizamiento, etc.» (Bolivia s.f.)

e. Etapa 5: Supervisión de carreteras en operación. Esta etapa implica el control de la carretera luego de unos meses de la apertura para asegurarse de que está funcionando como se esperaba. También se utiliza para evaluar si una carretera existente o una red de carreteras está funcionando de manera segura y para identificar posibles medidas de bajo costo que puedan adoptarse para mejorar la seguridad en las mismas. (Asian Development Bank, 2003)

Es importante destacar que aunque algunas rutas hayan sido auditadas en su construcción, es importante auditarlas nuevamente, pues su uso cambia con el tiempo. Además, las auditorías regulares permiten identificar riesgos para la seguridad, previo a que se traduzcan en accidentes. (Bolivia s.f.)

También, al estar la ruta en servicio, se dispondrá de todos los datos necesarios de su funcionamiento, como los son las características del tránsito, accidentalidad, velocidad de operación, entorno socio-económico, trazado, etc. los cuales deberán ser analizados para identificar las áreas donde se pueda mejorar la seguridad vial de la carretera. (Bolivia s.f.)

5. Metodología. Para realizar una auditoría de seguridad vial se recomienda seguir las siguientes etapas:

a. Definición y selección del equipo auditor. Al haber determinado el estudio, diseño, obra en construcción o ruta existente a auditar, se deberán acotar los límites entre los cuales se hará dicha auditoría. En base a estos límites se dimensionará el tamaño y las características del equipo auditor para así satisfacer los objetivos de la auditoría. (Bolivia s.f.)

Entre las características del equipo auditor se destacan:

- Formado por profesionales del área de ingeniería, especializados, con participación y conocimientos en materias de seguridad vial.
- Debe permitir cubrir tanto aspectos técnicos y normativos, como de investigación directa en el terreno.

- Personal suficientemente entrenado, para así identificar un mayor número de riesgos.
- Multidisciplinario, beneficiándose de la interacción de distintos conocimientos, aportes individuales y puntos de vista diferentes. (Bolivia s.f.)

El tamaño del equipo auditor dependerá de la magnitud de lo que se auditará, requiriendo de varios profesionales dirigidos por un jefe de proyecto. Generalmente deberá estar integrado entre dos a cinco personas. Equipos con mayor cantidad de personas pueden presentar dificultades en la obtención de consenso frente a determinados problemas, resultando difícil la generación de soluciones concretas.

A su vez, para que el equipo auditor pueda realizar su trabajo de la mejor manera, deberá de proveérsele la documentación necesaria del proyecto y brindarles el apoyo y facilidades necesarias para que puedan ejecutar la auditoría sin ningún contratiempo. (Bolivia s.f.)

b. Criterios que debe tener presente un auditor de seguridad. Se detallan, en la **Tabla 15**, criterios que debe tomar en consideración el equipo auditor al enfrentar el análisis de situaciones puntuales en una vía a medida que se van implementando conceptos de gestión y controles de gestión en el ámbito de la seguridad vial. Para profundizar más en cada uno de estos criterios, referirse a la bibliografía citada. (Bolivia s.f.)

Tabla 15: Criterios a tomar en cuenta en auditorías de seguridad vial

Criterio	Breve descripción
Jerarquización	<ul style="list-style-type: none"> - Respetar la jerarquía de las categorías funcionales en las rutas viales, específicamente en las intersecciones. - Respetar los requisitos básicos de cada categoría.
Uso de suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisar el uso adecuado del suelo para cada caso específico: evitar que tránsito interurbano pase por zonas urbanas, evitar que peatones crucen calzadas de autopistas, etc. - Evitar que distintos tipos de usuarios pasen por el mismo suelo.
Diseño geométrico	<ul style="list-style-type: none"> - Aunque es poco probable modificaciones al diseño geométrico, será necesario conocer e identificar los problemas y su participación en la ocurrencia de accidentes, para solicitar su corrección.
Intersecciones	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar el número de intersecciones. - Minimizar el número de puntos de conflicto. - Asegurar una adecuada visibilidad. - Reforzar su presencia mediante el uso de señales apropiadas. - Restringir el uso de aperturas en la mediana de carreteras de doble calzada al máximo. - Proveer de islas y refugios que aseguren el cruce de ciclistas y peatones en forma protegida.

Continuación de tabla 15: Criterios a tomar en cuenta en auditorías de seguridad vial

Criterio	Breve descripción
Control de accesos	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar los accesos y el uso de los terrenos adyacentes. - En caminos de jerarquía <i>colector</i> o superior, evitar terrenos o propiedades con acceso directo. - Espaciar los accesos lo más posible para minimizar los puntos de conflicto. - Para accesos y e intersecciones en curvas pronunciadas, señalar a una distancia adecuada. - Proveer facilidades para salir del camino.
Alineamiento vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Tomar en cuenta los vehículos lentos en las subidas. - Tomar en cuenta lechos de frenado en pendientes pronunciadas. - Minimizar las restricciones de visibilidad debidas a la geometría del camino.
Alineamiento horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar una distancia de visibilidad adecuada. - Basar el peralte de las curvas en la velocidad de diseño y la resistencia al deslizamiento del pavimento en estado mojado. - Evitar conflictos visuales por la combinación del alineamiento vertical y horizontal.
Sección transversal	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar las autopistas para permitir más pistas de las inicialmente justificadas. - Utilizar anchos de pista anchos. - Evitar caminos de tres pistas. - Utilizar medianas anchas en las calzadas divididas.
Continuidad del diseño	<ul style="list-style-type: none"> - No cambiar repentinamente las expectativas que tiene el conductor de la ruta.
Zona despejada	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar una franja adyacente al borde de la vía, que esté disponible para los vehículos errantes.
Superficie de rodadura	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la resistencia al deslizamiento del pavimento mojado. - Procurar una textura superficial adecuada para mejorar la visibilidad durante la noche y con el pavimento mojado.
Visibilidad diurna y nocturna	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar el agua salpicada o rociada por otros vehículos. - Evitar manchas reflectivas y zonas oscuras longitudinales.
Señalización horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Indicar prioridades, prohibiciones y maniobras a ser desarrolladas. - Deben permanecer visibles bajo toda circunstancia. - Evitar mantención demasiado frecuente. - Mensaje claro y con suficiente anticipación.
Señalización vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Entregar mensajes claros y sencillos con suficiente anticipación. - Uniformidad en las señales. - Estar en acuerdo y ser consistente con la señalización horizontal.
Iluminación del camino	<ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad de iluminación en la superficie de rodadura. - Utilización de postes frágiles o barreras de protección. - Mayor importancia en intersecciones y donde se presente alta concentración de peatones.
Pantallas antideslumbrantes	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización de pantallas en la mediana de caminos con doble calzada. Las pantallas deberán permitir la visión en ángulo recto a la dirección del tránsito, mientras en la dirección de tránsito actuarán como pantalla.

Continuación de tabla 15: Criterios a tomar en cuenta en auditorías de seguridad vial

Criterio	Breve descripción
Islas de tránsito	<ul style="list-style-type: none"> - En intersecciones de caminos secundarios. - Para ayudar el cruce de tránsito y movimientos de giro. - Proveer facilidades que ayuden a los peatones a cruzar la calzada.
Barreras camineras, vallas peatonales y otros elementos de protección	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenir la colisión de vehículos que circulan en sentido opuesto. - Prestar atención a los extremos de las barreras, los cuales pueden transformarse en puntos de alto riesgo. - No deberán presentar peligro a los vehículos que transitan por la calzada.
Gestión de tránsito	<ul style="list-style-type: none"> - Control de límites de velocidad. - Control de accesos. - Cruces peatonales (a nivel o mediante pasarelas). - Control de estacionamientos.
Límites y controles de velocidad	<ul style="list-style-type: none"> - La velocidad de circulación por una vía es una variable relacionada con el diseño y operación de la vía y no tiene relación con argumentos legales o administrativos. - Inducir la velocidad de circulación mediante una adecuada jerarquización y diseño de la ruta.
Control de intersecciones	<ul style="list-style-type: none"> - Indicar la prioridad en todas las intersecciones entre caminos. - Evitar confusión entre los conductores. - Utilizar la señal de ceda el paso, pare o semáforos convenientemente en cada intersección.
Cruce de peatones	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar cruces con facilidades apropiadas donde la concentración de peatones sea importante. - Utilizar islas o pasarelas donde sean requeridas. - Utilizar vallas peatonales en la mediana de la calzada donde exista pasarela, para desincentivar a los peatones cruzar en nivel.
Estacionamientos sobre la calzada	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar estacionamientos protegidos en las cercanías de intersecciones o cruces peatonales.
Áreas de detención y paradas de buses	<ul style="list-style-type: none"> - Con área segregada, un punto de entrada y otro de salida. - Los lugares de transferencia deberán tener conexiones peatonales directas y segregadas del tránsito vehicular. - Proveer áreas claramente señaladas, fuera de la calzada y con la carpeta de rodadura en buen estado.
Calles de servicio	<ul style="list-style-type: none"> - Para disminuir la fricción lateral provocada por las concentraciones de accesos privados. - Para orientar los flujos hacia las intersecciones.
Mantenimiento y trabajos en la carretera	<ul style="list-style-type: none"> - Observar el estricto cumplimiento de las especificaciones, en lo relativo a las disposiciones de los elementos de seguridad y control de tránsito. - Observar características de la carretera para indicar su reparación. Entre otras, la pérdida de la capacidad de la fricción, crecimiento de la vegetación, deterioro del pavimento.

(Bolivia s.f.)

c. Recopilación de antecedentes. El equipo auditor deberá revisar toda la información que se tenga concerniente al camino, para comprender bien sus planos de proyecto, mejoramientos efectuados, propósitos, historia y limitaciones contempladas en el proyecto. (Bolivia s.f.)

Los antecedentes de respaldo, como mínimo, deberán incluir:

- Informes de auditorías efectuadas en etapas previas
- Planos como se construyó
- Volúmenes de tránsito de todos los usuarios (vehículos, peatones, ciclistas)
- Información de accidentes

Si en alguno de los incisos no se cuenta con la información, deberá contemplarse un estudio durante la auditoría para completar estos antecedentes. (Bolivia s.f.)

d. Reuniones entre los participantes. Deberá realizarse una reunión inicial para compartir los alcances del estudio o camino en explotación, clarificar responsabilidades, establecer canales de comunicación, listado de chequeo, agenda del proyecto y demás puntos necesario para comenzar bien el trabajo. (Bolivia s.f.)

e. Informes de una auditoría de seguridad vial. «Durante esta etapa, el equipo auditor deberá revisar y evaluar, desde el punto de vista de la seguridad vial, los planos y antecedentes del proyecto. Además, deberá efectuar inspecciones a terreno para proveer al equipo el conocimiento de las condiciones existentes y de todos aquellos aspectos que puedan constituirse en elementos o situaciones de riesgo.» (Bolivia s.f.)

«Cabe señalar que previo a visitar el terreno, el auditor deberá estudiar y efectuar un análisis de la información recopilada y deberá familiarizarse con las listas de chequeo, de modo de lograr una exploración productiva y recoger los aspectos relevantes en las inspecciones a terreno que se realicen.» (APIA XXI Ingenieros y Arquitectos Consultores)» (Bolivia s.f.)

f. Proceso y análisis de la información recopilada. Se deberá analizar y procesar la información existente, para determinar si es suficiente o si deberá contemplar, actualizar o agregar nuevos antecedentes para la realización de las siguientes tareas:

- Plano con la ubicación, en planta, del camino y su conectividad la red vial.
- Plano con la ubicación, en planta, de los accidentes por usuario.
- Determinar tramos o sectores con concentración de accidentes.
- Determinar tramos o sectores que determinen riesgo de accidentes.
- Plano con velocidades de diseño y operación.

- Análisis de enlaces, cruces, puentes y singularidades que presente el camino.
- Análisis de los accidentes ocurridos en los últimos tres años. (Bolivia s.f.)

g. Inspecciones en terreno. «Las salidas a terreno serán exigibles para todos los integrantes del equipo auditor, ya que mediante la experiencia extraída en terreno de los problemas que enfrentan los usuarios, se asegurará una adecuada solución de ellos.» (Bolivia s.f.)

Al salir a terreno, el equipo auditor deberá considerar un análisis explícito de cómo se ve afectada la seguridad de los usuarios debido a:

- Distintas horas: día noche y penumbra.
- Condiciones climáticas: lluvia, viento, nieve, bancos de neblina, heladas, etc.
- Condiciones geográficas: zona costera, camino pre cordillerano, camino de cordillera, camino con atractivos naturales, ríos, pendientes, acantilados, etc. (Bolivia s.f.)

Para lograr el objetivo planteado con anterioridad, el equipo auditor deberá realizar visitas a terreno recorriendo la vía en ambos sentidos, en distintas condiciones. El inspector, además, deberá realizar una evaluación de las características físicas del proyecto, haciendo evaluaciones al mobiliario de la carretera, señales, semáforos, iluminación, demarcaciones, alineamientos y características geométricas, desde una perspectiva multimodal. (Bolivia s.f.)

Se recomienda el uso de cámaras fotográficas y filmaciones en vídeo para capturar las imágenes características de la vía, las que podrán ser utilizadas como material de apoyo en discusiones posteriores. También se recomienda efectuar nuevamente el recorrido, pero que el conductor sea una persona externa del equipo auditor, acompañada por estos. Este recorrido tendrá como objetivo verificar aspectos que pudieran haber sido olvidados por el conocimiento de la ruta que posee el equipo auditor. (Bolivia s.f.)

h. Listas de chequeo. Las listas de chequeo corresponderán a una serie de preguntas que orientarán al equipo auditor respecto de las características de los elementos existentes en un camino, relacionados con los criterios de seguridad vial que se deberán observar. (Bolivia s.f.)

Para facilitar la auditoría de seguridad vial, el listado que se lleva para chequeo incluye una gran variedad de temas, incluidos los criterios la **Tabla 15**. Se incluyen varios listados de chequeo como ejemplo, compilados en los anexos 4, 5 y 6 de este trabajo.

i. Reporte de conclusiones preliminares. Luego de las inspecciones del terreno y analizadas las listas de chequeo, se procederá a efectuar el reporte de conclusiones preliminares. Este reporte incluirá los sectores de riesgo que se han detectado y planteará las conclusiones preliminares de la auditoría. Estos sectores de riesgo deberán estar documentados y justificados, basándose en normas nacionales,

internacionales u otros estudios de seguridad vial. Lo anterior con la finalidad de evitar aplicaciones de soluciones de tipo subjetiva y sin el debido respaldo técnico. (Bolivia s.f.)

Luego de realizar el reporte de conclusiones preliminares, se procederá a realizar una reunión donde se discutirán las posibles alternativas de solución a los sectores de riesgo encontrados, y se planteará la posible existencia de otros factores que no han sido considerados, aunando esfuerzos a fin de acordar los tipos de alternativas que el equipo auditor deberá desarrollar. (Bolivia s.f.)

j. Presentación de soluciones. Se realizará otra reunión donde se presentarán las soluciones a los problemas detectados, las cuales se basarán en las distintas alternativas planteadas en la reunión de conclusiones preliminares. El objetivo de esta reunión es discutir las alternativas presentadas y despejar cualquier duda que se tuviera con relación a ellas. Las soluciones presentadas deberán ser concretas y particulares al sector en que se detecte el problema. No se aceptará soluciones globales o generales. (Bolivia s.f.)

k. Informe final. «Luego de todas las reuniones sostenidas, el equipo auditor entregará al mandante un informe final, el cual deberá contener como mínimo los siguientes aspectos:

- En forma clara y concisa deberá identificar aspectos del camino que impacta negativamente el nivel de seguridad de los usuarios.
- Deberá indicar las alternativas de soluciones a cada uno de los aspectos indicados en el punto anterior.
- Evaluación económica de las propuestas de solución entregadas.» (Bolivia s.f.)

Los riesgos de seguridad de los usuarios deberán categorizarse y ordenarse de mayor a menor importancia, indicando los que requieran una atención inmediata. (Bolivia s.f.)

El informe final deberá contener lo siguiente:

- Introducción: marco contextual del proyecto de auditoría, indicando objetivos, metodología a adoptar y resultados esperados.
- Diagnóstico: Estará en función de las visitas al terreno y las listas de chequeo, referido a la situación observada, los problemas presentes, las causas de estos y las medidas a adoptar para solucionarlos.
- Propuestas de solución: Definir alternativas de solución fundamentadas.
- Evaluación de alternativas: evaluar las propuestas definidas a través de un análisis multicriterio, que tome en consideración todas las variables involucradas en la solución. La alternativa seleccionada debe ser cuantificada económicamente y contar con la validación de su funcionalidad.

- Conclusiones: Finalizar con un resumen claro, que indique el problema detectado, la alternativa escogida, cómo esta ayuda a solucionar el problema y cuánto cuesta la solución.

E. Sistemas de información de seguridad vial.

Como se menciona anteriormente, sobre auditorías de seguridad vial, es de suma importancia contar con datos fiables y precisos sobre los hechos de tránsito. Con un historial de lo que ocurre en las carreteras se puede aumentar la conciencia sobre la magnitud de los hechos de tránsito, y convencer a los políticos de la necesidad de una acción. (World Health Organization, 2010)

Datos fiables y precisos también son necesarios para identificar correctamente los problemas, los factores de riesgo, áreas prioritarias y para formular estrategias, trazar metas y monitorear el desempeño. Cuando se tengan estos datos se podrán realizar diagnósticos fundamentados sobre los hechos de tránsito y así, tomar medidas apropiadas y asignar los recursos necesarios para mejorar la seguridad en estos puntos de la red vial. Sin esto, no habrá reducciones significativas y sostenibles en la exposición al riesgo de choque o en la gravedad de los accidentes. (World Health Organization, 2010)

Aunque en nuestro país se recogen datos sobre los hechos viales todos los días, para que estos sean útiles en el campo de la seguridad vial, deben estar debidamente codificados, procesados y analizados en un sistema de base de datos informático. Con la información necesaria organizada será posible identificar los puntos de riesgo de una red vial, definir de una forma más completa el problema, identificar las causas de riesgo y con esto plantear la mejor estrategia de intervención para reducir el riesgo y proveer a los usuarios de una red vial más segura.

Para lograr el objetivo de contar con un sistema de base de datos confiable sobre los hechos de tránsito, es necesario conocer cuál es la información y el análisis necesario de la misma, para no desviarse y obtener resultados que no son los que se buscaban. La Organización Mundial de la Salud ha desarrollado un manual con este objetivo, en el cual se basará este capítulo.

Este manual comienza por explicar cómo debe realizarse una evaluación situacional actual, para luego diseñar, mejorar e implementar un sistema de información. Por último presenta una serie de indicaciones para, utilizando la información proveniente del sistema, mejorar la seguridad de la red vial.

Sin embargo, este trabajo únicamente se enfocará en la parte de la evaluación, debido a que se desea motivar, dejando lugar a futuras investigaciones y proyectos que desarrollen más ampliamente el tema, idealmente, un proyecto para implementar un sistema de información en Guatemala.

1. Evaluación de situación actual. Antes de comenzar a mejorar o construir un nuevo sistema de datos de seguridad vial, es necesario realizar una evaluación de la situación bien planificada y completa. En la mayoría de casos, es preferible trabajar sobre un sistema de datos existente a trabajar en implementar uno completamente nuevo. Por esto, es fundamental tener una comprensión sólida y completa de lo que ya está disponible, así como las limitaciones de los mismos.

Los principales objetivos de una evaluación situacional es identificar:

- Personas y organismos que participan en la recolección, procesamiento y utilización de datos sobre seguridad vial.
- Fuentes de datos y sistemas ya existentes, así como sus fortalezas y limitaciones.
- Las necesidades de los usuarios finales.
- Los factores políticos que ayudan o dificultan la mejora de los sistemas de datos de seguridad vial. (World Health Organization, 2010)

La información obtenida a través de la evaluación situacional es crítica para discutir el caso de la mejora de los datos de seguridad vial, y para elegir la ruta de acción apropiada. La Organización Mundial de la Salud propone cuatro pasos para llevar a cabo una evaluación de la situación actual de sistemas de datos:

a. Análisis de los actores o interesados. El principal objetivo de este análisis es identificar las organizaciones y personas que tienen interés en la recopilación o el uso de los datos de seguridad vial, incluyendo posibles aliados y opositores a la mejora o implementación de sistemas de datos. Entre estos involucrados se encuentra la policía de tránsito, que hacen cumplir la legislación de tránsito e investiga los accidentes de tránsito; las autoridades de salud, especialistas en traumas y otros médicos que se ocupan de los heridos en accidentes de tránsito; y los organismos de transporte e ingenieros civiles que construyen carreteras, identifican y reparan los defectos de la carretera y los errores en los patrones de tránsito que contribuyen a los accidentes. Otros actores interesados son las organizaciones de estadísticas nacionales, la industria de seguros, organizaciones no gubernamentales que trabajan para la seguridad vial, instituciones académicas, agencias internacionales que ayuda a la construcción y mantenimiento de carreteras, medios y los responsables de crear políticas de seguridad vial. (World Health Organization, 2010)

También es importante examinar las funciones y actividades de los actores. Un análisis cuidadoso debe realizarse sobre la influencia y los intereses de los mismos, ya que esto ayudará a diseñar una manera apropiada de enfocarse. Es de suma importancia identificar a quienes apoyan y a quienes se oponen, pero sobre todo sus razones, para así poder desarrollar soluciones que satisfagan a todos los involucrados. (World Health Organization, 2010)

Un tercer objetivo del análisis de los actores o involucrados es decidir cómo estos deben participar en el proceso, para asegurar más posibilidades de éxito para el programa. En particular, debe definirse la naturaleza, forma y modo de participación de los involucrados. (World Health Organization, 2010)

Para facilitar con el proceso de evaluación de los involucrados, la Organización Mundial de la Salud sugiere una serie de preguntas a realizar, las cuales se presentan en la **Tabla 16**.

b. Evaluación de las fuentes, sistemas y calidad de los datos. Al considerar sistemas de datos de accidentes viales es importante conocer qué información se está recolectando y quién lo está haciendo, cómo se maneja la información, que alcance y calidad tiene. Distintas instituciones recopilan información sobre el mismo accidente de tránsito utilizando diversos métodos, ya sea por medio de entrevistas y/o observación directa y medición. (World Health Organization, 2010)

Tabla 16: Preguntas para ayudar en la evaluación de involucrados

Lista de chequeo para evaluación de involucrados
¿Ha identificado a todos los interesados responsables de la aplicación de la ley, los transportes y la salud?
¿Ha identificado otro tipo de interesados (industria de seguros, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas, industria del automóvil, etc.)?
¿Ha identificado las actividades y los roles de cada actor en relación a los datos de la seguridad vial?
¿Ha identificado los grupos de interés que serán claros partidarios u opositores?
¿Se convocó a una reunión de partes interesadas, incluidos los partidarios y opositores, los recolectores de datos y los que utilizarán los mismos?

(World Health Organization, 2010)

Es poco frecuente que una persona o institución cumpla con todas las necesidades de información para un sistema de datos de seguridad vial. Por esto, debe tomarse en cuenta todas las fuentes existentes, evaluando tres aspectos para cada una de ellas:

- Información o variables recogidas
- Formato de los datos
- Sistema utilizado para almacenar y analizar la información (World Health Organization, 2010)

A continuación se listan algunas posibles fuentes de datos para accidentes de tránsito, fatales y no fatales:

- Fuentes de datos para accidentes de tránsito fatales:
 - Certificado de defunción

- Reportes policiales de accidentes
- Reportes de autopsia
- Archivos de seguros
- Medios de comunicación
- Fuentes de datos para accidentes de tránsito no fatales:
 - Reportes policiales de accidentes
 - Registros de accidentes y emergencias
 - Registros de traumas
 - Registros de hospitales o ambulancias
- Otras fuentes de datos:
 - Compañías aseguradoras de vehículos y conductores
 - Encuestas y estudios científicos (World Health Organization, 2010)

En muchos países, los registros de la policía constituyen la principal fuente de información en accidentes de tránsito. Comenzar con inventariar la información de la policía, luego tomar en cuenta los certificados de defunción y médicos, luego la información de los hospitales y por último los seguros. Cada una de estas fuentes tiene sus propias fortalezas y limitaciones, mostradas en la tabla siguiente:

Tabla 17: Principales fuentes de información de hechos viales

Fuente	Tipo de información	Observaciones
Policía	<ul style="list-style-type: none"> ● Número de accidentes viales, muertos y heridos ● Usuarios de la vía involucrados ● Edad y sexo de los involucrados ● Vehículos involucrados ● Evaluación policial de las causas de los hechos ● Utilización de equipos de seguridad ● Ubicación de los hechos ● Enjuiciamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ● El nivel de detalle varía de un país a otro ● Los registros policiales pueden ser inaccesibles ● Suele haber problemas de registro insuficiente ● Puede no existir ubicación precisa
Centros de salud	<ul style="list-style-type: none"> ● Hechos fatales y no fatales ● Edad y sexo de los involucrados ● Costos del tratamiento ● Uso de drogas o alcohol 	<ul style="list-style-type: none"> ● El nivel de detalle varía de un hospital a otro ● Las causas de lesión pueden no estar debidamente codificadas
Registro civil	<ul style="list-style-type: none"> ● Hechos fatales ● Edad y sexo de los involucrados ● Tipo de usuarios involucrados 	<ul style="list-style-type: none"> ● Causa de muerte puede no estar debidamente codificada
Compañías de seguros	<ul style="list-style-type: none"> ● Hechos fatales y no fatales ● Daño a los vehículos ● Costo de reclamos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Considerados comercialmente sensibles, por lo que puede ser difícil su acceso

Continuación de tabla 17: Principales fuentes de información de hechos viales

Fuente	Tipo de información	Observaciones
Otras instituciones privadas y públicas, incluidas las de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Hechos fatales y no fatales entre los empleados • Daños y pérdidas • Reclamos de seguro • Asuntos legales • Información operacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Información específica para la planificación y operación de las instituciones
Departamentos del gobierno y agencias especializadas	<ul style="list-style-type: none"> • Estimados de población • Información de gastos e ingresos • Indicadores de salud • Información de contaminación • Consumo de energía • Nivel de alfabetismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Información complementaria e importante para el análisis de los hechos viales • Aunque la información es recolectada por distintos organismos y ministerios, suele haber una agencia central que recopile la información y genere reportes
Grupos especiales de interés	<ul style="list-style-type: none"> • Hechos de tránsito • Tipo de usuarios involucrados • Año y sexo de los involucrados • Vehículos involucrados • Causas • Ubicación de los hechos • Impacto social y psicológico • Factores de riesgo • Intervenciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Distintas organizaciones tienen distintos intereses

(World Health Organization, 2010)

Los resultados del sistema de información de hechos viales se utilizarán para definir medidas y políticas para mejorar la seguridad vial. Es por tanto importante evaluar los sistemas de datos utilizados por las fuentes de información, así como la calidad de la misma. Para realizar una evaluación, tanto de los sistemas de información como de la calidad de la misma, la Organización Mundial de la Salud propone una serie de preguntas a realizar, expuestas en la **Tabla 18** y **Tabla 19** respectivamente.

c. En lo referente a la calidad de los datos es importante tomar en cuenta las definiciones, pues estas determinan que incidentes son cuantificados como accidentes viales, y clasificaciones de gravedad de los hechos. No existen definiciones universales sobre lo que es considerado un hecho de tránsito y sus distintas clasificaciones, por esto es de vital importancia crear estas definiciones desde un principio, para contar con una alta calidad de la información recopilada. (World Health Organization, 2010)

Evaluación de las necesidades del usuario final. Es importante realizar una evaluación de las necesidades de los usuarios finales cuando se implementa o expande un sistema de información de seguridad vial, pues esto aumentará el uso que se le dará al sistema. (World Health Organization, 2010)

Tabla 18: Preguntas para ayudar a la evaluación de los sistemas de información

Lista de chequeo para evaluación de los sistemas de información
¿Qué población o área geográfica cubre?
¿Proporciona un censo de los incidentes en una población entera, o incluye información de sólo una muestra de la población?
¿Hay estimaciones de la cobertura de la población?
¿Qué eventos se capturan?
¿Qué definiciones se utilizan?
¿Qué variables se incluyen?
¿Cómo son los datos transferidos desde el lugar del accidente a la base de datos?
¿Cuáles son los vínculos actuales y potenciales con otras bases de datos?
¿Cuáles son los mecanismos, formales e informales, para el intercambio de información?
¿En qué formato se encuentra almacenada la información?
¿La información es accesible?
¿Cuáles son los mecanismos de financiamiento?

(World Health Organization, 2010)

Tabla 19: Preguntas para ayudar a la evaluación de la calidad de la información

Lista de chequeo para evaluación de calidad de la información
¿El sistema captura todos los hechos viales?
Si no, ¿qué tipo de sesgo se utiliza por la exclusión de algunos eventos?
¿Cómo afecta esto a la utilización de la información?
Para los eventos capturados, ¿La información es completa y precisa? ¿Qué procesos de validación se utilizan?
¿Cuál es la frecuencia con que falta información?
¿La información faltante es sistemática para algunas variables o determinados tipos de incidentes? Es decir, ¿existe un sesgo entre lo que se registra y lo que no?

(World Health Organization, 2010)

Existe una gran cantidad de usuarios y proveedores de información sobre seguridad vial. Una evaluación de sus necesidades es importante para comprender mejor a los usuarios, así como el tipo de información que estos esperan extraer del sistema de datos. También se logran determinar los recursos económicos y humanos que serán necesarios, y se logra diseñar un sistema de información centralizado, que combine las necesidades de todos los usuarios. (World Health Organization, 2010)

Por esto, una evaluación de las necesidades de los usuarios debería revelar:

- Quiénes son los usuarios.
- Circunstancias o situaciones que les llevan a exigir información sobre seguridad vial.
- Tipo de información que necesitan y esperan extraer los distintos usuarios de un sistema de información.
- Fuentes de información que los usuarios utilizan actualmente.
- Forma en que los usuarios desean acceder a la información.
- Factores que afectan o determinan el acceso y uso de los sistemas de información de seguridad vial. (World Health Organization, 2010)

Para realizar este tipo de evaluación, la información de los usuarios finales puede ser recopilada con encuestas, entrevistas, grupos foco, observaciones del comportamiento de los usuarios en el sistema, análisis de solicitudes de información, entre otros métodos. (World Health Organization, 2010)

d. Análisis del entorno político. La seguridad vial es a menudo la responsabilidad de la autoridad de carreteras o el ministerio de transporte, o de un consejo nacional de seguridad vial. Estos organismos suelen ser responsables de supervisar la seguridad en la red vial, y mejorar la seguridad a través de medidas tales como mejoras en lugares peligrosos y auditorías de seguridad. Cuando estos organismos inicien o lideren cambios en el sistema de información de seguridad vial, es de vital importancia que lo realicen junto con las principales fuentes de información. Sin el diálogo y la colaboración entre los generadores y colectores de la información sobre seguridad vial, y los usuarios finales de los datos, es poco probable que las mejoras al sistema de información sean exitosas. (World Health Organization, 2010)

El entorno político puede ayudar u obstaculizar las mejoras a los sistemas de información de seguridad vial, y determinar cómo se realizan estas. Para facilitar este procedimiento, la Organización Mundial de la Salud propone una serie de preguntas que ayudará a proporcionar una visión global de la situación política, las cuales se muestran a continuación en la **Tabla 20**. (World Health Organization, 2010)

Una vez que la situación actual ha sido evaluada, el proceso de priorización de acciones puede comenzar. Los resultados de la evaluación de la situación deben dar una clara comprensión de los actores involucrados, incluyendo a los socios y rivales potenciales, el contenido, los procesos y la calidad de las fuentes de datos y sistemas, los datos que necesitan los usuarios finales, y el ambiente político y disponibilidad de recursos. Esto ayudará a entender lo que está actualmente en vigor, lo que se necesita, dónde están las brechas, y el nivel de interés y compromiso para hacer frente a esas deficiencias. (World Health Organization, 2010)

Tabla 20: Preguntas para ayudar al análisis del entorno político

Lista de chequeo para análisis del entorno político
¿Existe un organismo responsable de la seguridad vial? ¿Qué es y cuál es su función principal?
¿Cuáles son los principales departamentos gubernamentales implicados en la toma de decisiones de seguridad vial, y qué papel desempeña cada departamento?
¿Cuál es la naturaleza de las relaciones entre agencias?
¿Existe una estrategia de seguridad vial, e incluye esta un componente de información?
¿Cuál es el presupuesto actual para la seguridad vial en el país? ¿Hay prioridades en el presupuesto para mejoras en el ámbito de la seguridad vial? ¿Existen fondos accesibles para sistemas de información de seguridad vial?
¿Cuáles son las políticas existentes en relación al transporte, aplicación de la ley, salud y finanzas que son relevantes para la seguridad vial? ¿Tienen componentes de información?
¿Cuáles son los factores, en el entorno político, que puedan impulsar el cambio, y cuáles se opondrán?
¿Existe la capacidad adecuada para la implementación o mejora de la recopilación, procesamiento, análisis, difusión y utilización de los datos?

(World Health Organization, 2010)

**V. ESTABILIDAD DE TALUDES POR MEDIO DE SUELO
MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO**

A. Introducción

En el diseño inicial de una carretera se debe analizar la geografía del lugar con el fin de encontrar la mejor ruta geométrica que puede conectar dos puntos por medio de una carretera. Esta no es la única condición que debe cumplirse, ya que existen otros factores importantes a considerar como lo son los aspectos geológicos de la ruta, esto se debe a que se puede dificultar el diseño y la construcción, aumentando los costos significativamente.

La estabilidad de taludes es un tema muy importante para las carreteras ya que en un país con geografía y geología muy variable como la de Guatemala, se requieren hacer muchos cortes con pendientes pronunciadas a lo largo de las rutas establecidas. La estabilidad de los taludes debe ser estudiada con el objetivo de ofrecer seguridad a los usuarios. Actualmente, en Guatemala existe un gran número de incidentes que bloquean parcial o totalmente las carreteras, perjudicando a miles de guatemaltecos anualmente al quedar bloqueadas las principales vías de comunicación.

La estabilidad de los taludes puede ser controlada por medio de bermas, para disminuir el ángulo de inclinación de este. También se puede controlar la estabilidad al implementar sistemas geotécnicos como los muros mecánicamente estabilizados que se conforman de una masa de suelo compactada con elementos de refuerzo horizontal para contener la presión lateral del suelo; muros de contención construidos de concreto armado; o el sistema enclavado del suelo, que consiste en contener el suelo por medio de elementos a tensión que se anclan por detrás del plano de falla del talud inestable. Cada sistema debe ser estudiado para determinar bajo qué condiciones es recomendable su aplicación.

B. Revisión de manuales de la secretaría de integración económica centroamericana (SIECA)

En este documento se estudian los documentos publicados por SIECA con el objetivo de identificar todas las especificaciones relacionadas con el la estabilidad de taludes y la aplicación de sistema de muros mecánicamente estabilizados. Entre los manuales de infraestructura vial se encuentra información sobre todas las etapas que conlleva la realización de un proyecto de vialidades, incluyendo parámetros de diseño, métodos constructivos y mantenimiento de la estructura hasta que cumpla el tiempo de vida al que fue diseñado. Los temas de geotecnia y geología son unos de los menos descritos en los manuales, por este motivo se decidió enfocarse en esta área.

Entre todos los manuales de SIECA, el *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales del Consejo sectorial de ministros de transporte de Centro América* contiene información sobre estabilidad de taludes y los distintos sistemas que existen para la contención de taludes. Dicho documento se divide en secciones y sub secciones, las cuales muestran especificaciones para el diseño y construcción de muros mecánicamente estabilizados. La sección enfocada a este tema es la 255. Además, dentro de esta sección se hace referencia a otras partes del documento que complementan la información. (SIECA, 2004)

Otra publicación de SIECA denominada *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras*, establece parámetros que limitan la calidad mínima permitida, a la que se debe llegar durante el proceso de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. Este documento consta de la sección C. que se enfoca en las actividades de movimiento de tierra como corte y relleno durante el proceso de construcción de carreteras. Durante el movimiento de tierras se crean taludes que pueden llegar a ser inestables, provocando deslaves, derrumbes, deslizamientos de material o cualquier otro tipo de falla. Es por esta razón que el manual determina cuales son las condiciones bajo las cuales se puede tener realizar un corte o relleno de suelo. Este documento establece las normas con el fin de minimizar el impacto ambiental que este provoca. (SIECA, 2002). Para más información, las secciones de los manuales analizados en este documento se encuentran en **Anexos**.

1. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales.

a. Sección 255: Muros de tierra armada. *El manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* consta de una sección que trata sobre los muros mecánicamente estabilizados, que es la sección 255. Según el manual, esta sección “consiste en la construcción de muros de tierra estabilizada por medios mecánicos (tierra armada).” (SIECA 2004, pag 250-14)

1) Materiales. Dentro de la sección 255, existen subsecciones que hacen referencia a otras secciones del mismo manual, en la sección 255.02 se encuentra la especificación para los materiales a utilizar en la construcción de suelos mecánicamente estabilizados, los materiales mencionados son los siguientes:

a) Sección 601: Capa niveladora de concreto hidráulico. La sección 601 se refiere a la construcción de estructuras menores de concreto, en el caso de los muros mecánicamente estabilizados, estas especificaciones regulan el material utilizado para la construcción de paneles de concreto hidráulico

utilizados en el revestimiento de la fachada frontal del muro. La composición del concreto diseñado debe realizarse de acuerdo a las especificaciones mostradas en el siguiente cuadro. (SIECA2004, pag 600-3)

Tabla 21: composición de concreto para estructuras menores.

Propiedad	Especificación
Contenido mínimo de cemento, kg/m ³	362
Máxima relación agua/cemento	0.49
Revenimiento máximo, mm	125
Mínimo contenido de aire	4
Tamaño de agregado grueso	AASHTO M 43, con 100% pasando la malla 37.5 mm
Esfuerzo mínimo a la compresión a los 29 días, Mpa	25

(SIECA 2004, Tabla 601-1)

Durante la construcción de la estructura de concreto se deben tener las siguientes consideraciones:

- «Diseñar y construir los encofrados libres de pandeos, alabeos o abombados, y que permitan ser removidos sin dañar el concreto. Cuando el concreto contiene aditivos retardadores, cenizas, o puzolanas sustitutivas del cemento, diseñar los encofrados, para una presión lateral, igual al ejercido por un líquido que pesa, 2400 kilogramos por metro cúbico.» (SIECA2004, pag 600-3)
- «Usar madera, metal, o cualquier otro material adecuado para encofrados. Mantener los encofrados limpios y cubiertos con un desmoldante o aceite, antes de colocar el concreto.» (SIECA2004, pag 600-3)
- «Colocar y amarrar el acero de refuerzo, de acuerdo a la Subsección 554.08.» (SIECA2004, pag 600-3)
- «Humedecer los encofrados y las fundaciones, inmediatamente antes de colocar el concreto.» (SIECA2004, pag 600-3)

b) Tela geotextil tipo IV (sección 714.01).El geotextil propuesto debe cumplir con los requisitos mínimos presentados en la **Tabla 22**.

El geotextil se propone únicamente como filtro entre las juntas de los paneles, ya que estas retienen el paso de las partículas finas del suelo, y permiten el paso del agua, evitando así que se acumule una presión hidrostática producto del agua. Dependiendo de las condiciones del suelo y el nivel freático, es conveniente escoger cual tipo de geotextil utilizar según la tabla anterior.

Tabla 22: Requisitos físicos para geotextiles de control permanente de erosión

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Tipo IV-A (1)	Tipo IV-B (1)	Tipo IV-C (1)	Tipo IV-D (1)	Tipo IV-E (1)	Tipo IV-F (1)
Resistencia al agarre	D 4632	Newtons	1400/900	1400/900	1400/900	1100/700	1100/700	1100/700
Resistencia de juntas cosidas	D 4632	Newtons	1260/810	1260/810	1260/810	990/630	990/630	990/630
Resistencia a rasgaduras	D 4533	Newtons	500/350	500/350	500/350	400/250	400/250	400/250
Resistencia a agujeros	D 4833	Newtons	500/350	500/350	500/350	400/250	400/250	400/250
Resistencia a ruptura	D 3786	Kpa	3500/1700	3500/1700	3500/1700	2700/1300	2700/1300	2700/1300
Permisividad	D 4491	Segundos ⁽⁻¹⁾	0.7	0.2	0.1	0.7	0.2	0.1
Abertura aparente	D 4751	'mm	0.34	0.25 (2)	0.22 (2)	0.34 (2)	0.25 (2)	0.22 (2)
Estabilidad al ultravioleta	D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición solar					

(1) El primer valor en cada tipo se aplica para los geotextiles que se rompen a menos del 50% de elongación. El segundo valor corresponde a los geotextiles que se rompen al 50% a mayor elongación (ASTM D 4632).

(2) Se aplica al valor promedio máximo del rollo.

(3) El valor mínimo promedio de resistencia a rasgadura para geotextil monofilamento tejidos de 245 Newtons.

(SIECA 2004, Tabla 714.4)

c) Sección 720.01 (a) Materiales para muros de revestimiento con paneles de concreto.

En esta sección se dan las especificaciones a seguir para el diseño de los paneles de concreto en el uso de fachadas. Se especifica las siguientes características:

- Tipo y resistencia del concreto: «Concreto Portland clase A (AE). Resistencia mínima a la compresión uniaxial de 30 MPa, a los 28 días.» (SIECA 2004, pag 700-94)
- Características del encofrado: «Deberán soportar plenamente las cargas hasta que el concreto alcance, como mínimo, una resistencia a la compresión de 7 MPa. Las unidades podrán retirarse cuando el concreto alcance como mínimo una resistencia a la compresión de 24 MPa.» (SIECA 2004, pag 700-94)
- «Acabado final en la cara de la fachada: El acabado de la cara frontal del panel debe ser de Clase 1 y su parte trasera se debe codlear para eliminar distorsiones que excedan 6 mm.» (SIECA 2004, pag 700-94)
- Transporte y almacenamiento: La práctica de transporte y almacenamiento debe «eliminar los peligros de desastillamiento, decoloración, agrietamiento, fractura y los esfuerzos excesivos de pandeo.» (SIECA 2004, pag 700-94)
- Tolerancias: Posición de los dispositivos de conexión del panel, dentro de los 25 mm. La escuadría, determinada por la diferencia entre dos diagonales, no deberá exceder 13 mm. Los defectos en superficies lisas de 1,5 metros de longitud o más, no excederán de 3 mm. Los defectos en superficies con acabado texturado de 1.5 metros de longitud o más, no excederán de 8 mm. (SIECA 2004, pag 700-94)

d) Sección 720.01 (b): Materiales para muros de revestimiento con malla de alambre. La fachada de estos muros está compuesta únicamente por refuerzo horizontal vertical de varillas de acero. Es aconsejable utilizar malla electro soldada que cumpla con las condiciones siguientes: “La malla deberá fabricarse con alambre soldado MW 40 x MW 15, de acuerdo con AASHTO M 55 M, excepto que el valor del cortante promedio no será menor de 450 kilo pascales. Después de fabricado el alambre será galvanizado de acuerdo con AASHTO M 111.”(SIECA 2004, pag 700-95)

e) Sección 720.01 (c) al (j): En las especificaciones para conexión y refuerzo para suelo reforzado. En esta sección se determinan las especificaciones requeridas para el diseño del refuerzo a tensión que se distribuye horizontalmente dentro del suelo mecánicamente estabilizado, y también su conexión a la fachada. Los parámetros recomendados según las normas AASHTO M 55M, AASHTO M 223M, AASHTO M 111, ASTM A 740, ASTM A 570 M.

f) Sección 704.10: Relleno de fundación y Sección 704.04: Relleno estructural. El material granular selecto se utiliza en la construcción de muros mecánicamente estabilizados para establecer una base de cimentación para el muro. El relleno estructural es el suelo que se encuentra entre refuerzo a tensión. En todo el relleno se debe eliminar material orgánico, o cualquier contaminante que modifique las características del suelo. El relleno de fundación y el relleno estructural tienen que cumplir con la siguiente clasificación:

Tabla 23: Características de suelo de relleno y de fundación

Características de suelo de relleno y de fundación	
Porcentaje pasando por peso AASHTO T-27 y T-11 para malla 100 mm	100
Porcentaje pasando por peso AASHTO T-27 y T-11 para malla 75 mm	75-100
Porcentaje pasando por peso AASHTO T-27 y T-11 para malla 75 μ m	0-15
Angulo de fricción interna AASHTO T-236	34° mínimo
Perdida de Sulfato de sodio (5 ciclos) AASTHO T-104	15 % máximo
Pérdida de abrasión Los Ángeles AASHTO T-96	50% máximo
Límite líquido AASHTO T-89	30 máximo
Resistividad AASHTO T-288	3000 Ohmios-cm mínimo
ph AASHTO T-289	5 a 10
Contenido de sulfatos AASHTO T-290	1000 ppm máximo
Contenido de cloruros AASHTO T-291	200 ppm máximo

(SIECA 2004)

2) Sección 255.03: Requerimientos generales. En la sección 255.03 del manual se pueden encontrar los siguientes requerimientos generales para la construcción de muros de tierra armada, las indicaciones más importantes son las siguientes:

- Realizar un levantamiento topográfico para determinar la posición correcta del muro a construir según los planos. (SIECA 2004, página 250-14)
- «Se construirá una fundación con un ancho en exceso de 0.50 m respecto a la longitud de la malla de refuerzo.» (SIECA 2004, página 250-14)
- «Cuando el muro sea soportado por una fundación rocosa, se deberá colocar un espesor de 150 mm de relleno con material granular selecto de previo a la colocación de la malla de refuerzo.» (SIECA 2004, página 250-14)
- En los muros revestidos con concreto hidráulico, se deberá proveer una capa niveladora de concreto hidráulico reforzado o no reforzado colado en sitio, y deberán ser curadas por un período de al menos 12 horas de previo a la colocación de los paneles de muro. (SIECA 2004, página 250-14)

3) Sección 255.04: Construcción de muros de tierra armada. La fachada de los muros mecánicamente estabilizados únicamente evita la erosión y derrumbes del suelo superficial, por lo que no proporcionan ninguna función estructural. Según el manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras para la construcción de carreteras y puentes regionales, los únicos tres tipos de fachadas con especificaciones técnicas para muros armados, son los siguientes:

a) Muros con paredes de concreto hidráulico. Este sistema consta de paneles de concreto prefabricados que deben ensamblarse en el muro en el sitio. Las especificaciones son las siguientes:

- «Los paneles de muro serán alineados en el sentido vertical y horizontal con una precisión de 19 mm y por medio de un cordal recto de 3 metros.» (SIECA 2004, página 250-15)
- «Los anchos de junta serán de 19 ± 6 mm. Las juntas en los reversos de los paneles de pared deberán ser cubiertas con bandas de tela geotextil de 300 mm de ancho; bandas adyacentes de telas geotextiles serán traslapadas en un ancho mínimo de 100 mm.» (SIECA 2004, página 250-15)
- «Se construirán los muros de manera que la tolerancia vertical (de la superficie a la base) no exceda la relación de 13 mm por cada 3 m de altura.» (SIECA 2004, página 250-15)

b) Muros con paredes alambradas. Este sistema de muro armado se caracteriza por tener una fachada de reforzado con malla de acero, además de esta malla se coloca grava o geotextil entre el suelo reforzado y la malla para evitar que el suelo se desprenda de la superficie del talud. Las especificaciones son las siguientes:

- «Se colocarán capas de soporte y mallas de alambre de 6 mm en colocaciones sucesivas horizontales, conforme avanzan los trabajos de relleno.» (SIECA 2004, página 250-15)

- «Se conectarán, tensarán y anclarán elementos de refuerzo en las caras del muro, antes del relleno.» (SIECA 2004, página250-15)
- «No deberán excederse las tolerancias verticales para la colocación de incrementos individuales que defina el Contratante y deberá respetarse una tolerancia vertical total (de la superficie a la base) de menos de 25 mm por cada 3 m de altura.» (SIECA 2004, página250-15)
- «Se colocarán elementos de refuerzo dentro de un margen de 25 mm medidos verticalmente sobre el nivel de conexión del relleno con las paredes alambradas.» (SIECA 2004, página250-15)
- «No podrán haber desviaciones en ningún punto sobre el muro de más de 50 mm respecto a un cordal recto de 3 m colocado de forma horizontal sobre el plano teórico de diseño para las caras de las paredes.» (SIECA 2004, página250-15)

c) Muros con paredes de gaviones. En el análisis de muros mecánicamente estabilizado según AASHTO la fachada no tiene función estructural. (AASHTO, 200.). Sin embargo, este sistema tiene un peso considerable que mejora la estabilidad externa del muro mecánicamente estabilizado. Si el diseñador considera apropiado la fachada se puede tomar en cuenta como parte del análisis estructural correspondiente. Las especificaciones son las siguientes:

- «Se colocará una capa de relleno antes de la colocación de la primera hilera de gaviones.» (SIECA 2004, página250-15)
- «Se colocarán las mallas de refuerzo de manera horizontal sobre las capas de relleno compactado, y de manera perpendicular a las caras de las paredes del muro.» (SIECA 2004, página250-15)
- «Se conectarán los gaviones adyacentes a las mallas de refuerzo con amarres de acero, o por el medio definido por el Contratante, en espaciamiento nominal de 100 mm, alternado uniones simples y dobles.» (SIECA 2004, página250-15)
- «Se tensará y anclará la malla de refuerzo antes de la colocación de relleno adicional.» (SIECA 2004, página250-15)

4) 255.0: 4 Relleno. Las especificaciones para el procedimiento de compactación del suelo de relleno se realizaran según el siguiente procedimiento:

- «Se colocará un relleno en capas horizontales, de manera que cuando estén compactadas no se exceda una profundidad de 150 mm.» (SIECA 2004, página250-16)
- «Se compactará cada capa de acuerdo con la norma AASHTO T 99, método C.» (SIECA 2004, página250-16)
- «Se aplicará el material de relleno de una forma uniforme, con desplazamiento hacia los límites del área de excavación.» (SIECA 2004, página250-16)
- «No se colocarán rellenos contra concreto hidráulico de menos de 7 días de colado, o hasta que se alcance un 90 % de la resistencia de diseño.» (SIECA 2004, página250-16)

b. Sección 254. Muros de contención modulares. En esta sección se encuentran especificaciones que indican las propiedades y características de las fachadas de muros. Estas fachadas no están diseñadas específicamente para muros de tierra armada, sin embargo se puede adaptar a este tipo de muros, ya que la fachada se puede construir con sistemas similares. Las fachadas indicadas en esta sección son las siguientes:

- Concreto: bloques modulares.
- Metal: paneles metálicos penados.
- Madera tratada: madera estructural tratada.

2. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras.

a. Sección C.8: Cortes y rellenos o terraplenes. En la sección C.8 la única especificación con relación a la estabilidad de taludes determina que es importante cubrir los taludes con material vegetal, el cual evitará posibles procesos erosivos.

b. Sección C.9: Secciones típicas para la excavación en roca. La excavación en rocas se encuentra en una especificación distinta a las de otro tipo de suelo, ya que las condiciones pueden variar dependiendo de las características del suelo en determinadas áreas. Si el tipo de roca se encuentra altamente estables se puede tomar una pendiente casi vertical hasta $\frac{3}{4}:1$ (horizontal:Vertical), dependiendo de geológico que debe ser realizado en el área.

c. Sección C.10: Secciones típicas para la excavación en Tierra. Según las especificaciones, esta actividad daña seriamente al ambiente debido a que propicia el mayor cambio en el ambiente, esto incluye la erosión, alteración de patrones de drenaje, destrucción de hábitats y muy importante la desestabilización de taludes y laderas naturales.

El manual recomienda inclinaciones de taludes dependiendo del tipo de suelo que se encuentre en el área. Esta recomendación se realiza sin tomar en cuenta la que se puedan utilizar alguna estructura que actúe como muro de retención. A continuación se muestran las pendientes recomendadas, las cuales se basan en la presencia de agua, ya que esta modifica las propiedades de cohesión del suelo, creando un talud más inestable.

Tabla 24: Pendientes típicas de cortes en suelos

Cuadro N° C.10.1: Pendientes típicas de cortes en suelos (cortes hasta 10-12 m de altura)⁶					
Suelo #	Descripción USC	Nivel de Agua Freática Bajo (debajo de la excavación)		Nivel de Agua Freática Alta, Filtración o Área Inestable	
		Suelto	Compactado	Suelo	Compactado
1.	Grava arenosa (GW, GP)	1 ½:1	¾:1	3:1	1 ¾:1
2.	Arena, granos angulares bien graduadas (SW)	1 ½:1	1:1	3:1	2:1
3.	Grava limosa (GM); arena uniforme (SP)	2:1	1 ½:1	4:1	3:1
4.	Arena limosa (SM); Arena arcillosa (SC)	1:1	¾:1	3:1	2 ½:1
5.	Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura	¾:1	¼:1	3:1	2 ½:1
6.	Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura	1:1	¾:1	4:1	3:1

Nota: Por cada cambio de 5% en la densidad del suelo, modifíquese la relación aproximadamente 5%.

(SIECA 2002, Cuadro C.10.1)

d. Sección C.11 Secciones típicas para la construcción de rellenos. De la misma manera se especifican las pendientes recomendadas para los rellenos, esto es sin tomar en cuenta estructuras para contención de taludes.

Tabla 25: Pendientes Recomendadas para taludes de Relleno de diversos materiales

Cuadro N° C.11.1 Pendientes Recomendadas para Taludes de Relleno de Diversos Materiales⁷		
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USC)	Talud Sin Agua Subterránea	Talud con Agua Subterránea
Roca Madre dura y angular	1.2:1	1.5:1
Grava arenosa GW	1.3:1	1.8:1
Arena, granos angulares bien graduadas GP, SW	1.5:1	2:1
Grava limosa, Arena uniforme GM, SP	1.8:1	3:1
Arena limosa, Arena arcillosa SM, SC ³	1.75:1 ó más plano	3:1
Limo arcillo arenoso, Arcilla con P.I. bajo ML	2:1 ó más plano	4:1
Limo arcillo arenoso ML	3:1 ó más plano	4:1

Arcilla con P.I. bajo
Limo arcillo arenoso

(CL), a 3 m de altura
(ML), a 15 m de altura

(SIECA 2002, Cuadro C.11.1)

La sección C.11.4 especifica que la construcción de tierra armada para el caso de construcción de rellenos. Esta sección indica que la inclinación de este talud puede tener una inclinación de 1:1 al utilizar geotextil o geomalla. El refuerzo primario se debe localizar a cada 1-1.5 metros y el refuerzo intermedio a cada 0.3 metros. La superficie de este relleno debe utilizar grama o vegetación tipo gramíneas (pastos) y/o una malla de control de erosión.

e. Sección C.12 Secciones típicas para rellenos sobre áreas húmedas. En esta sección se determina que para áreas húmedas se debe utilizar geomallas y geotextiles para proveer filtración, separación de materiales y refuerzo.

f. Sección C.14 Medidas para protección de taludes. Entre las estructuras de retención de taludes más utilizadas están: muros de gravedad, muros de concreto reforzado, muros de gaviones, muros en tierra armada, pilotes, anclajes y materiales estabilizantes.» Otra solución que las normas recomiendan es el uso de escalonamiento en taludes, lo cual transforma un talud de gran altura en varios más pequeños.

Esta sección también especifica la importancia de controlar el flujo de corrientes de agua en la superficie de los taludes, por lo que se recomienda una canalización de agua adecuada y tomar medidas necesarias para el control de erosión.

C. Análisis de manuales de la secretaría de integración económica centroamericana (SIECA)

En los manuales de *Secretaría de integración económica centroamericana* (SIECA) se puede encontrar información que especifica la construcción y diseño de los muros de tierra armada. Basadas principalmente en las normas y especificaciones del manual de carreteras de Los Estados Unidos de América llamadas *Standards specifications for highway bridges*, publicado por *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), el cual también hace referencia a las normas *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Las especificaciones encontradas en los manuales de SIECA tomadas del documento de AASHTO aún necesitan detallarse y actualizarse regularmente con el objetivo de crear una norma válida que pueda ser utilizada actualmente en Centroamérica y proporcione una base confiable en la cual los profesionales puedan apoyarse.

Las especificaciones referentes a los suelos mecánicamente estabilizados se encuentran en el manual de “Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales”, éstas se enfocan principalmente en normalizar las características y propiedades de algunos materiales utilizados para el diseño y la construcción de los muros estabilizados por medios mecánicos, entre los materiales especificados se encuentran fachadas de distintos elementos de concreto, fachadas alambradas, barras

metálicas para el refuerzo a tensión, y el relleno estructural que se debe utilizar. Las especificaciones dadas para los materiales mencionados anteriormente se encuentran claramente descritas. Sin embargo, existen otros materiales que no se mencionan en el manual.

El material que necesita una mayor actualización es el tipo de refuerzo a tensión que se especifica en los manuales SIECA. En este documento se menciona únicamente barras metálicas como refuerzo a tensión en el suelo reforzado. Sin embargo, esta práctica se ha ido cambiando en los últimos años, utilizándose más el refuerzo de geomalla hecha de materiales derivados de polímeros, como lo es el polipropileno de alta densidad o poliéster. Según las empresas guatemaltecas importantes este tipo de refuerzos producidos en forma de mallas (geomallas) son los más utilizadas actualmente en Guatemala (Referencia: Macafferri, Geocon, Megaproductos). Este material tiene la ventaja de tener una mayor resistencia a agentes químicos que oxidan o degradan los materiales como el acero. Con la nueva tecnología, estos materiales alcanzan una alta resistencia a la tensión, lo cual es ideal para el sistema de construcción de muros mecánicamente estabilizados. También es importante mencionar que se pueden lograr obras con una vida útil de mayor duración. Por lo tanto, es de suma importancia actualizar los manuales de SIECA para que se pueda contar con un documento que se encuentra actualizado con la tecnología de punta.

En cuanto al tipo de fachada de concreto, los manuales SIECA mencionan tres: fachada de paneles de concreto, fachada alambrada y fachada de concreto hidráulico lanzado. Estos tipos de fachada se utilizan actualmente, pero también debe incluirse la fachada de bloques modulares de concreto, los cuales son utilizados con mucha frecuencia en Guatemala.

En el *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras* de SIECA se especifican temas enfocados al movimiento de tierras que se realiza durante el proceso de construcción de un talud o una estructura que estabilizará un talud que se encuentra en condiciones desfavorables. En este documento se establecen parámetros de corte y relleno que determinan las pendientes máximas permitidas para la superficie de un talud, esto en base al tipo de suelo encontrado en el sitio. Al tomar como referencia únicamente el tipo de suelo localizado en el área, sin realizar un estudio de suelo completo, es posible que la información recopilada sea muy subjetiva y deficiente, lo cual conlleva a una posible solución sobre diseñada con parámetros muy conservadores que incrementa económicamente el valor del proyecto, o puede proponerse un diseño que no cumpla con las condiciones adecuadas y falle la estabilidad del talud. Por esta razón se recomienda que se realice un estudio de suelos que revele información sobre las propiedades y características del suelo, y posteriormente se realice un análisis de estabilidad que determine detalladamente en qué condiciones se puede mantener estable un talud, o cuando es necesaria la construcción de una estructura de retención.

En cuanto a la etapa de diseño para los muros estabilizados por medios mecánicos, no se muestran muchas especificaciones en los manuales de SIECA. Según las normas AASTHO es importante normar restricciones que establezcan parámetros mínimos de diseño que garanticen que una obra civil se mantenga funcional durante su vida de diseño. Por esta razón se documentó la norma *Mechanically stabilized earth walls and reinforces soil slopes design & construction guideline*, publicada por *Federal highway administration (FHWA)* y avalada por *U.S. Department of transportation*. En este manual se especifican parámetros de diseño que norman geometrías mínimas en el diseño de muros mecánicamente estabilizados. Aquí se deben incluir dimensiones mínimas y máximas para la geometría del muro, entre las cuales se encuentra longitudes mínimas del refuerzo a tensión, espaciamientos mínimos entre mallas, parámetros sísmicos a utilizar, factores de seguridad requeridos para el análisis de estabilidad de muro (estabilidad interna y externa), etc.

Debido a todo lo mencionado anteriormente, se aconseja actualizar las especificaciones propuestas por SIECA o crear un nuevo documento que se enfoque únicamente en el diseño y construcción de los muros mecánicamente estabilizados, con el fin de mejorar las prácticas de ingeniería utilizadas actualmente en Guatemala y Centroamérica.

D. Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (libro azul)

Es importante conocer las normas que actualmente se utilizan en Guatemala con el fin de analizar qué información se encuentra más desarrollada en relación al tema de interés que es el diseño y construcción de carreteras.

Se realizaron entrevistas a varios profesionales en el ámbito de diseño y construcción de carreteras sobre percepción de las normas actuales que se utilizan en los proyectos de ingeniería civil de este tipo. Los entrevistados concuerdan en que Guatemala tiene una desventaja sobre otros países al no contar con normas propias que establezcan los métodos de construcción acordes al país. Se han hecho esfuerzos en el país por adaptar normas de otros países (principalmente de Estados Unidos) para que puedan ser utilizadas en el contexto guatemalteco. El libro azul es el documento con mayor uso en Guatemala, ya que es el documento propuesto por La Dirección General de Caminos. Muchas empresas públicas toman este documento como único requisito para la realización de obras civiles que pertenecen a esta clasificación. El mayor inconveniente que tiene este documento es la falta de actualización en las normas lo cual provoca inconvenientes cuando las empresas constructoras quieren realizar proyectos con nuevas tecnologías, las cuales aun no están normadas por dicho código. Este inconveniente provoca que el proyecto se base en normas existentes en otros países o simplemente es rechazada la nueva tecnología, lo cual provoca un aumento en el costo y eficiencia que las nuevas tecnologías ofrecen.

El problema de simplemente utilizar los manuales de otros países es que cada norma se aplica en un lugar específico. Por ejemplo, las condiciones climáticas en Guatemala son muy distintas a las consideradas por las normas estadounidenses. Obviamente en Guatemala no existen inviernos con temperaturas tan bajas a las de países al norte. Las normas también se pueden adaptar a los materiales que naturalmente se encuentran fácilmente en el país.

El libro azul es el documento que actualmente se utiliza como referencia en los trabajos de diseño y construcción de carreteras. Este es el documento que respalda a las empresas constructoras y diseñadoras de infraestructura vial. A pesar de no estar actualizado correctamente, se debe conocer su contenido, ya que es indispensable en el ámbito de construcción y diseño de infraestructura nacional.

El libro azul está fundamentado en las especificaciones establecidas por el departamento de transportes de los Estados Unidos (FP-96). También se consultaron especificaciones de países de América del Sur y de experiencias de ingenieros Guatemaltecos. Las especificaciones pueden utilizarse como una guía muy general a seguir. No es el único documento necesario para diseñar y construir una carretera debido a que no consta con información detallada sobre los aspectos técnicos indispensables para un diseño completo de las carreteras y sus estructuras complementarias. El manual recomienda actualizaciones cada 5 años, lo cual no ha logrado, ya que la última actualización de las especificaciones se realizó en el año 2001.

Las especificaciones del Libro Azul mencionan y describen varias soluciones de ingeniería geotécnica para resolver los problemas usuales que se pueden encontrar en las carreteras, tales como la estabilización de taludes utilizando muros mecánicamente estabilizados, muros de contención y suelos enclavados. Sin embargo, al no ser este un manual de diseño, no se describe cual es el procedimiento a seguir para diseñar tales estructuras. Los aspectos geológicos como el análisis de fallas en el suelo no se mencionan en las especificaciones. Por lo tanto es necesario que se establezca un manual guatemalteco que describa completamente el diseño y construcción de todas las estructuras involucradas en proyectos de infraestructura vial.

E. Estabilidad de taludes

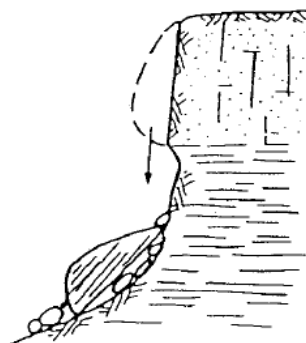
En la construcción de carreteras se requiere modificar el terreno existente para cumplir con la geometría establecida y de esta forma cumplir con las normas de seguridad mínimas. En este movimiento de tierras se crean muchos cortes y rellenos, obteniendo así taludes con una pendiente muy pronunciada. Por lo tanto, es importante estudiar estos taludes para determinar cuál puede ser el ángulo de inclinación máximo que puede tener la fachada del talud. Existen varios métodos para analizar la estabilidad de los taludes, cada análisis tiene sus ventajas y limitaciones. Para poder determinar qué tipo de análisis se debe utilizar para conocer la estabilidad de un talud determinado, es importante estudiar las características

geológicas y formas de falla correspondientes al tipo de estrato de suelo o roca encontrado en el sitio de estudio.

1. Fallas en taludes. Las fallas en los taludes se deben a distintos factores, sin embargo persiste la incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Es importante conocer los distintos tipos de fallas que existen con el fin de proteger los taludes existentes o por construir con la mejor solución posible. Los principales tipos de fallas que ocurren en taludes son los siguientes:

a. Desprendimientos. Son fallas repentinas de taludes con una inclinación muy pronunciada, el cual produce un desprendimiento de uno o más bloques de suelo o roca. Las causas más comunes son la socavación y la erosión que produce el flujo de agua sobre el talud. Este tipo de falla puede causar daños a personas o estructuras ya que el bloque desprendido puede llegar a tomar energía cinética durante su caída o volcadura hasta llegar al pie del talud. ((PAHO) & (OPS), 1997)

Ilustración 1: Desprendimientos



((PAHO) & (OPS), 1997)

b. Derrumbes. Los derrumbes ocurren en sentido de la estratigrafía geológica del suelo o rocas encontrado en el talud, ya que estos fallan paralelamente a la dirección de las fallas geológicas, ocurriendo un desplazamiento de un bloque o bloques sobre la superficie de falla, la cual se encuentra en cambios de estratigrafía de los estratos de suelo o rocas, estas características se encuentran comúnmente en suelos sedimentarios. Los derrumbes pueden ocurrir en un periodo corto de tiempo o en un periodo relativamente largo, dependiendo de los factores climáticos como la presencia de humedad. Durante el inicio de las fallas por derrumbes se pueden observar grietas de tensión producidas por el movimiento inicial.((PAHO) & (OPS), 1997)

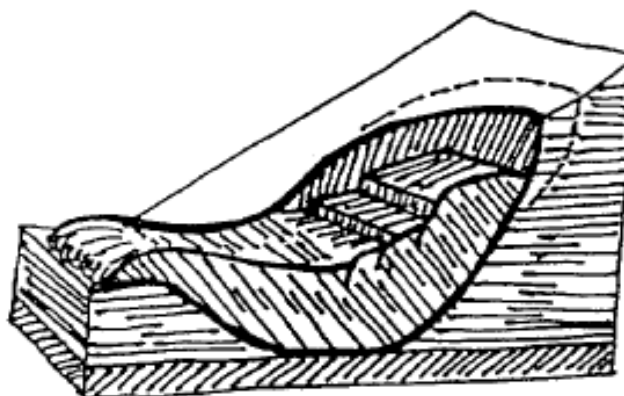
Ilustración 2: Derrumbes



((PAHO) & (OPS), 1997)

c. Derrumbes rotacionales. Estos derrumbes ocurren cuando el suelo falla cuando el material se encuentra en condiciones altas de humedad sobre el límite plástico, lo cual facilita su movilización rotacional en forma de cuchara, por lo que sería un bloque de tamaño considerable. Este proceso ocurre de manera lenta, por lo que se puede predecir con días de anterioridad. Las principales consecuencias son hundimientos e hinchamientos del suelo, según la dirección de la falla. El lento desarrollo de la falla permite tomar medidas de precaución y de protección, si es que se tiene una estructura en peligro estructural en juego. ((PAHO) & (OPS), 1997)

Ilustración 3: Derrumbe rotacional



((PAHO) & (OPS), 1997)

d. Deslizamiento de escombros. Este proceso es básicamente erosión de la superficie del talud. Se caracteriza por el desplazamiento de suelo o fragmentos de rocas, esto ocurre principalmente con la presencia de un flujo de agua superficial. Si la cantidad de escombros aumenta progresivamente, este

proceso puede convertirse en una avalancha y peligrar la vida de seres humanos o estructuras vulnerables. ((PAHO) & (OPS), 1997)

2. Factores que influyen a la estabilidad de taludes. Los deslizamientos ocurren naturalmente debido a los fenómenos climáticos y al movimiento de las placas tectónicas. También pueden ocurrir de forma artificial cuando el terreno se moldea para satisfacer las necesidades humanas, cada movimiento de tierra que se realiza sin un estudio previo puede producir consecuencias negativas en el entorno. Por lo tanto es importante conocer los factores más importantes que afectan a la estabilidad de los taludes.((PAHO) & (OPS), 1997)

a. Antecedentes históricos. Las fuentes históricas de información proporcionan referencias confiables para determinar la probabilidad de falla de un talud. Si se está estudiando un talud que se encuentra justo al lado un talud que falló meses antes, se puede asumir que este talud tiene una alta posibilidad de fallar en un tiempo cercano. Las mejores fuentes de información para este caso suelen ser los periódicos o incluso los vecinos cercanos. Otra información relevante puede ser investigar sobre existencia de grietas en construcciones cercanas, grietas en el terreno, hundimientos, hinchamientos, inclinación de postes o árboles, etc. Toda esta información pueda dar una mejor idea de cómo se comporta dicho talud. (Guía para identificar deslizamientos)((PAHO) & (OPS), 1997)

b. Geología. Los procesos geológicos que han ocurrido en la tierra durante millones de años son el producto de las características geológicas y geográficas actuales. Tales características son un factor importante en el estudio de la estabilización de taludes y las técnicas adecuadas para controlarlos. La geología de la zona establece las siguientes diferencias en los taludes:

Taludes escarpados: La causa más común de fallas en este tipo de taludes es el deslizamiento, ya que el suelo rocoso provoca una amplia posibilidad de deslizamiento entre el material meteorizado y el suelo residual. Las lluvias intensas o los cortes en el pie del talud propician este tipo de falla.

Áreas de concentración de drenaje y filtración: el agua es un factor importante en la estabilidad de taludes. El agua afecta de manera negativa cuando se presenta en forma de flujo superficial al erosionar el material. También puede generar presión hidrostática si el material de la superficie del talud tiene propiedades bajas de drenaje y la parte posterior tiene características que favorecen a la presencia del agua. Otro efecto que el agua tiene en el suelo es la capacidad de disminuir las propiedades de cohesión de un suelo arcilloso.

Áreas de concentración de fracturas: Las fracturas geológicas que se encuentran a lo largo de los taludes afectan a la estabilidad del mismo, ya que se crea un plano de falla que fácilmente se puede

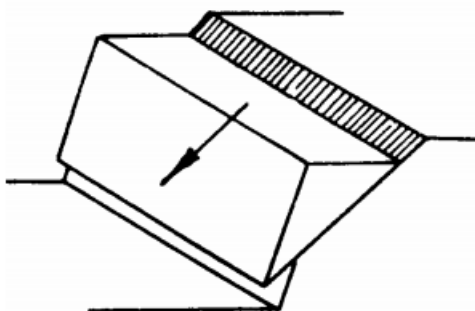
reactivar bajo las condiciones ideales. Si las fracturas se encuentran paralelamente a la superficie del talud, se tiene una alta posibilidad de que una falla ocurra sobre esta falla. Por lo tanto es recomendable que se busca un corte de talud con las fracturas direccionadas en forma perpendicular a la superficie del talud. ((PAHO) & (OPS), 1997)

3. Análisis de estabilidad de taludes. Para analizar la estabilidad global se debe tener claro el concepto básico que determina el factor de seguridad. Las fuerzas que se oponen a la falla del talud dividido a las fuerzas que inducen dicha falla, da como resultado el factor de seguridad para estabilidad global del talud analizado. (Das, 1999)

Los tipos de análisis más utilizados para determinar el factor de seguridad para la estabilidad global son los siguientes:

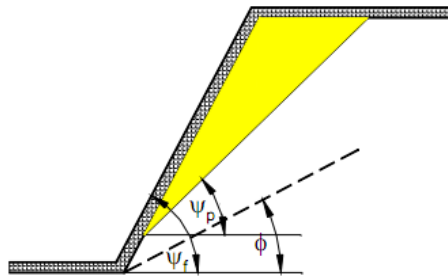
a. Rotura planar. Este método consiste en asumir que la falla ocurrirá con respecto a un plano que comienza desde una distancia superior al pie del talud, hasta un punto sobre la berma del talud. Éste al asumir que la falla ocurre en forma lineal, su procedimiento es relativamente sencillo al realizar un análisis de equilibrio de fuerzas estáticas. Este tipo de análisis se recomienda únicamente en estratos donde se puede identificar el plano donde existe el cambio de un tipo de suelo o rocas a otro, formando así el plano de falla. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 4: Modo de falla.



(Gavilanes, 2003)

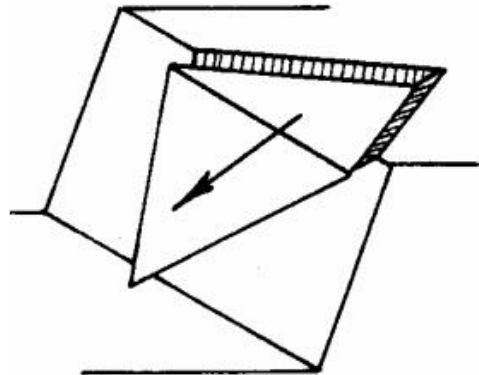
Ilustración 5: Plano de falla en talud.



(Gavilanes, 2003)

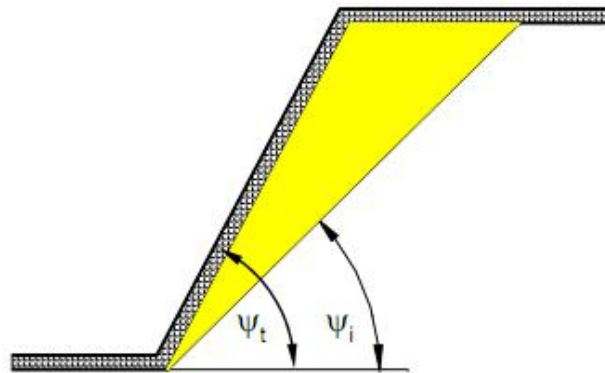
b. Rotura de cuña. Este tipo de análisis asume que la falla se dará en forma de cuña, en el cual se deben tomar varios puntos de referencia a lo largo del talud para determinar las direcciones en que actúan las fuerzas aplicadas a la falla. Luego se puede analizar el caso propuesto, es necesario hacer el análisis con los puntos posicionados en distintos lugares dentro del talud para determinar el valor más crítico para el factor de seguridad. Este tipo de análisis se recomienda cuando existen discontinuidades en los estratos de suelo o roca, sin este cambio de material o una fisura en suelo rocoso que forma una falla tipo cuña. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 6: Modo de falla



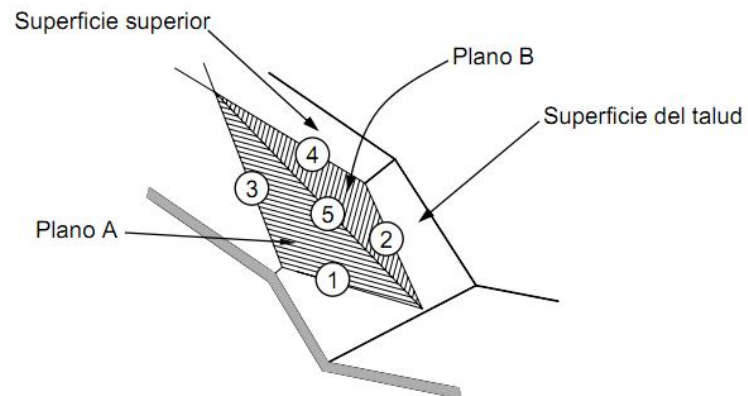
(Gavilanes, 2003)

Ilustración 7: Cuña de falla en talud



(Gavilanes, 2003)

Ilustración 8: Localización de puntos para plano de falla

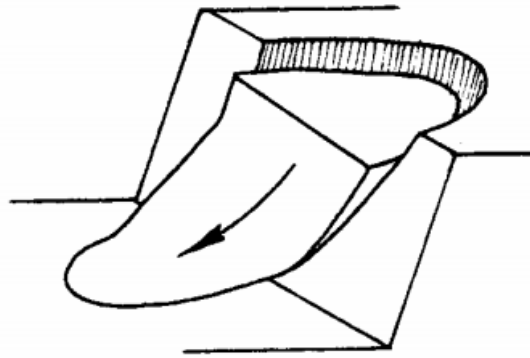


- 1 Intersección del plano A con el frente del talud.
- 2 Intersección del plano B con el frente del talud.
- 3 Intersección del plano A con la superficie superior del talud.
- 4 Intersección del plano B con la superficie superior del talud.
- 5 Intersección de los planos A y B.

(Gavilanes, 2003)

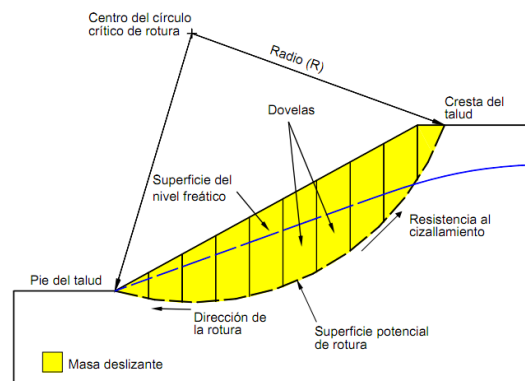
c. Método de rotura rotacional. Este método que más se recomienda debido a que el tipo de falla asumido para el análisis es el más cercano a la geometría que ocurre en fallas reales. El comportamiento se asemeja mayormente a suelos y rocas blandas, taludes formados por roca estéril, y macizos rocosos altamente fracturados, meteorizados o alterados. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 9: Modo de falla



(Gavilanes, 2003)

Ilustración 10: Falla rotacional en talud

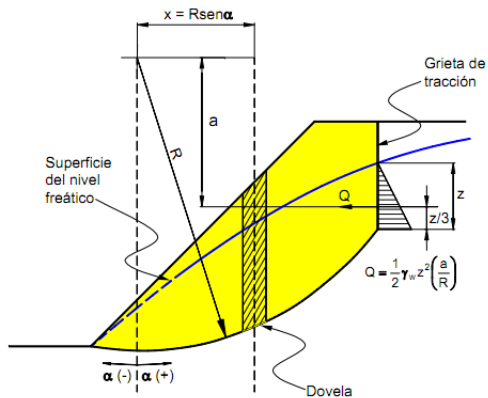


(Gavilanes, 2003)

La mejor forma de analizar este tipo de fallas es dividiendo la sección circular que falla en dovelas. La metodología consiste básicamente en establecer un punto sobre el talud que será en centro del círculo que creará el plano de falla. Luego de determinar cuál es la sección propensa a fallar, ésta se divide en secciones verticales de un ancho constante, estas secciones se llaman dovelas. Al ser una falla rotacional, la geometría a analizar tiene sus complicaciones de cálculo, por lo tanto se crearon los métodos de análisis de equilibrio estático aproximados, los más importantes son los siguientes:

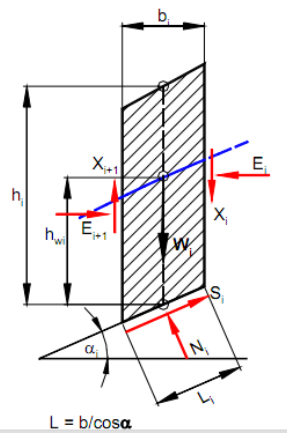
1) Método de Fellenius. Primer método de dovelas en ser ampliamente aceptado. Para facilitar el cálculo se ignoran las fuerzas entre dovelas, convirtiendo así el problema en un análisis estáticamente determinado. Este es el método más simple de calcular, pero proporciona el factor de seguridad más conservador. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 11: Análisis estático de falla



(Gavilanes, 2003)

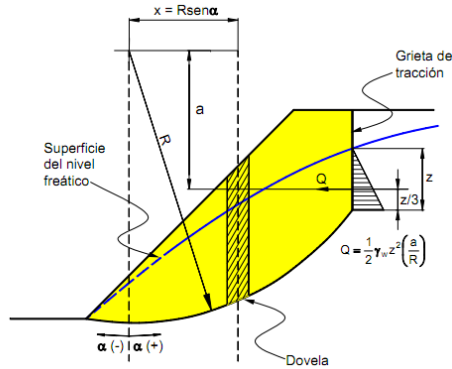
Ilustración 12: Equilibrio de fuerzas en dovela



(Gavilanes, 2003)

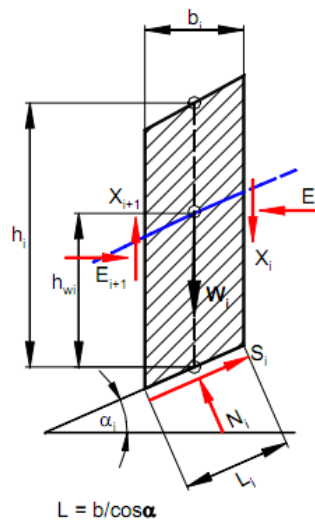
2) Método simplificado de Bishop. Este método es similar al propuesto por Fellenius, con la diferencia que en el de Bishop se consideran las fuerzas verticales entre dovelas. La solución es estáticamente indeterminada, por lo que se realiza mediante un proceso iterativo. Los valores para el factor de seguridad obtenidos por medio de este método son más elevados que los obtenidos por medio del método de Fellenius, siendo los resultados de Bishop más precisos. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 13: Análisis estático de falla



(Gavilanes, 2003)

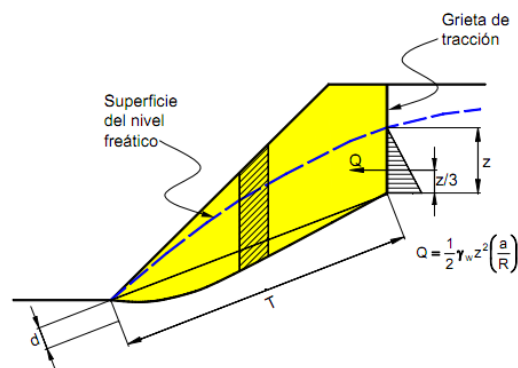
Ilustración 14: Equilibrio de fuerzas en dovela



(Gavilanes, 2003)

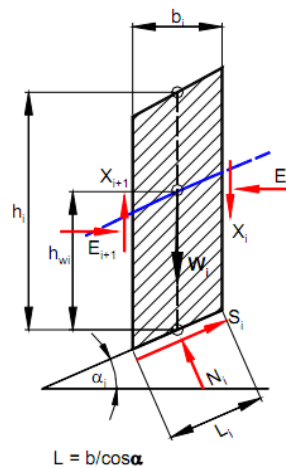
3) Método simplificado de Janbu. Este método, a diferencia de los anteriores que solo resuelven fallas circulares, puede resolver geometrías de fallas es más complejas por medio de dovelas. Se ignora el equilibrio estático de momentos, pero se analiza un equilibrio estático que involucra todas las fuerzas. Al igual que en el método de Bichop mencionado anteriormente, este requiere un proceso iterativo para identificar las soluciones que determinan el factor de seguridad. (Gavilanes, 2003)

Ilustración 15: Análisis estático de falla



(Gavilanes, 2003)

Ilustración 16: Equilibrio de fuerzas en dovela



(Gavilanes, 2003)

F. Suelos mecánicamente estabilizados.

En áreas geográficas con topografía muy irregular, es necesario hacer rellenos o cortes en tramos de carreteras. En la mayoría de ocasiones se decide perfilar los taludes determinando es la inclinación requerida para que el talud se encuentre en condiciones estables. Sin embargo, existen muchas circunstancias que reducen el espacio disponible para ampliar el tramo de carretera, obligando así a buscar soluciones de ingeniería como uso de muros de contención.

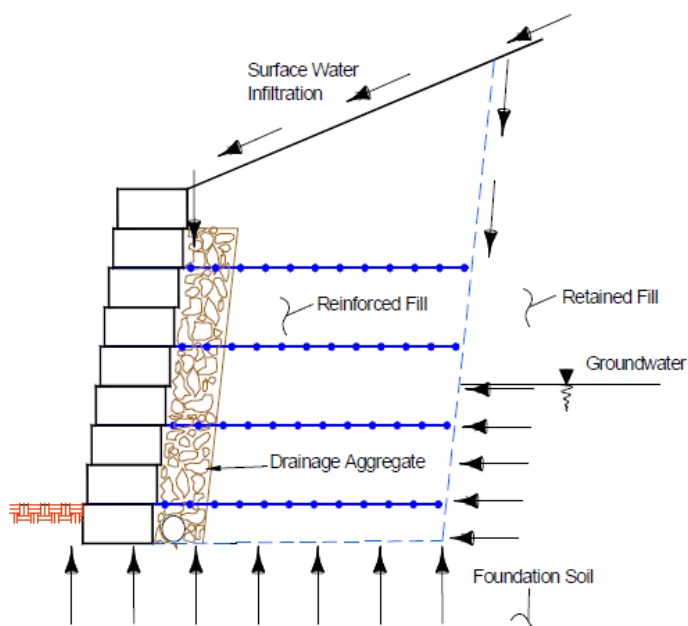
Los muros de contención, son obras civiles creadas con el fin de contener una masa de suelo. Dichos muros se encuentran a la intemperie, por lo tanto se deben tomar en cuenta todos los factores climáticos que lo afectan directamente, como lo es la lluvia, cuerpos de agua subterránea, sismos y otras cargas externas. Este tipo de obras es común en obras de infraestructura vial cuando las carreteras se localizan a orillas de una ladera, también se pueden encontrar en plataformas para puentes o pasos a desnivel. (Das, 1999)

El sistema de Tierra Armada fue propuesto inicialmente por el francés Henry Vidal a principios de los años 60s, en el cual se realizó la primera propuesta, en la cual se utilizaron barras metálicas como refuerzo a tensión en los muros. A principios de los años 70s se propuso utilizar geotextiles, lo cual eliminaba por completo el problema de la corrosión que presentan las barras metálicas. En la siguiente década el sistema evolucionó al desarrollar nuevos materiales para el refuerzo a tensión de productos derivados de petróleo, como polipropileno y polietileno. (Das, 1999)

1. Características. El suelo es un material con propiedades resistentes en compresión pero débil a tensión, por lo tanto no puede formar taludes muy verticales por sí solo. Una solución que le proporciona propiedades resistentes a la tensión es añadir un refuerzo longitudinal. Al combinar las características del suelo y del refuerzo se logra crear una estructura resistente a la compresión y a la tensión similar al sistema de concreto reforzado. (Das, 1999)

Los muros de suelo mecánicamente estabilizado trabajan como un muro de gravedad, ya que la masa monolítica del suelo es lo suficientemente grande y pesada como para soportar los empujes laterales del suelo retenido. Se deben realizar análisis de estabilidad externa, el cual determina que tan grande y pesada debe ser esa masa de suelo. Además se debe realizar un análisis de estabilidad interna, que determina los requerimientos para que esa masa de suelo trabaje monolíticamente. (Das, 1999)

Ilustración 17: Muro Mecánicamente Estabilizado



(Tensar, 2011)

2. Beneficios. Las estructuras de suelo mecánicamente estabilizado ofrecen los siguientes beneficios:

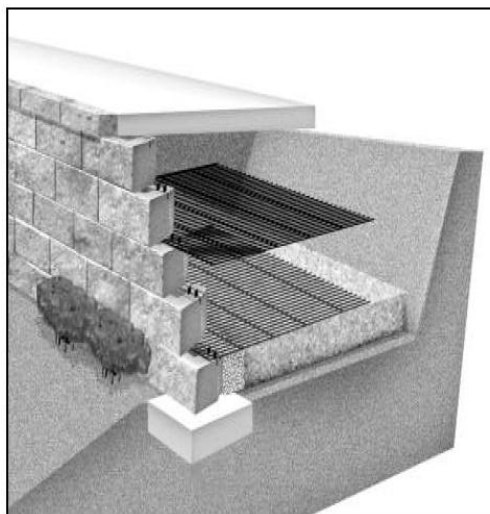
- Construcción simple y rápida sin equipos especiales.
- No requiere mano de obra experimentada.
- Gran tolerancia a asentamientos diferenciales y totales.
- No requiere fundación rígida.
- No requiere mantenimiento.
- Necesita menor espacio al frente del muro para construcción.

3. Desventajas. Las desventajas que se encuentran en este sistema de muros son las siguientes:

- Requiere, relativamente, gran espacio detrás de la fachada.
- Requiere relleno selecto.
- Buen criterio de diseño.
- Ensayos por corrosión o degradación, daños por construcción, etc. del refuerzo y fachada.
- Especificaciones y diseño no están totalmente estandarizados.

4. Componentes de suelo mecánicamente estabilizado. Los muros mecánicamente estabilizados se componen de los siguientes elementos:

Ilustración 18: Componentes de muro mecánicamente estabilizado



(Tensar, 2011)

a. Fachada. Es importante mencionar que la fachada del muro no tiene ninguna función estructural, únicamente proteger la superficie del talud, y en algunas ocasiones sirve como anclaje para los elementos de refuerzo a tensión. La fachada se compone principalmente por bloques de concreto, planchas de concreto o planchas metálicas. También existen sistemas que utilizan fachadas de malla que permite vegetarla superficie del talud, siendo esta una solución amigable con el medio ambiente.((FHWA) & (DOT), 2001)

b. Conectores. La conexión entre bloques de concreto puede ser únicamente por medio de la fricción que existe al colocar un extremo de refuerzo a tensión entre cada bloque. Sin embargo, el manual de diseño de muros mecánicamente estabilizados de la FHWA especifica que en zonas sísmicas, como en el caso de Guatemala, es necesario utilizar conectores mecánicos que mantienen el extremo del refuerzo en tensión en su lugar al momento de que ocurra un sismo. Los conectores incrementan la seguridad, reduce riesgo de fallas debidas a condiciones externas, asegura transferencia de cargas de la fachada al refuerzo.((FHWA) & (DOT), 2001)

c. Refuerzo a tensión. Este refuerzo se extiende horizontalmente por detrás de la fachada de muro. Este elemento debe tener características que garanticen su duración en condiciones de humedad y químicas que se llevan a cabo dentro del suelo. El tipo de refuerzo más utilizado actualmente son

geomallas, sin embargo aún están vigentes las normas que permiten el uso de geotextil de poliéster, barras metálicas o malla electro soldada.((FHWA) & (DOT), 2001)

d. Losa de nivelación. La losa de nivelación se utiliza únicamente para crear una plataforma estable que mantiene la alineación vertical de la fachada del muro. La losa de nivelación puede ser de concreto no reforzado o roca triturada. Es importante mencionar que este elemento no tiene función estructural.((FHWA) & (DOT), 2001)

e. Relleno reforzado. El relleno detrás de la fachada debe ser compactado adecuadamente. Las características del suelo utilizadas para el relleno deben cumplir con las siguientes condiciones:

1) Ángulo de fricción interna del suelo. Los ensayos para determinar el ángulo de fricción interna del suelo son los siguientes:

- Ensayo de Corte Directo, ASTM D3080 o AASHTO T236
- Ensayo Triaxial, ASTM D4767 o AASHTO T234

Los valores recomendados según AASHTO deberían de ser según cuadro:

Tabla 26: Tipo de suelo para relleno reforzado

Clasificación	Ángulo de fricción
Arcilla no plástica	26-30°
Arena uniformemente fina o media	26-30°
Arena bien graduada	30-34°
Arena y Grava media	32-36°

((AASHTO), 2004)

2) Granulometría. Según las normas AASHTO, la granulometría del relleno reforzado debe estar acorde a las características establecidas en la siguiente tabla:

Tabla 27: Granulometría para relleno reforzado

Clasificación AASHTO	
Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa
4 pulgadas	100
No. 4	-
No.40	0-60
No. 200	0-15
Requerimientos plásticos	
Límite plástico	≤ 6

((AASHTO), 2004)

Además se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Tamaño máximo recomendado por AASHTO: 3/4"
- Peso unitario: 16.5 - 21.5 kN/m³
- Los ensayos se deben realizar asumiendo la peor condición en campo.

3) Compactación. La compactación debe cumplir con el ensayo de al 90% Proctor modificado o 95% Proctor estándar. Las capas de compactación deben ser menores a 30 centímetros de espesor para lograr una compactación uniforme. ((FHWA) & (DOT), 2001)

f. Suelo retenido y de cimentación. El suelo retenido es el material que crea los empujes de presión activa al muro de contención. El suelo de cimentación conforma la plataforma en la cual se construirá el muro mecánicamente estabilizado, por lo tanto sus características son importantes para evitar fallas externas del muro diseñado. ((FHWA) & (DOT), 2001)

En análisis del suelo retenido y de cimentación se deben cumplir los siguientes criterios:

- Reporte geotécnico
- Suelo de cimentación debe tener suficiente capacidad portante
- Medir el asentamiento total del suelo de cimentación
- Estudiar las formaciones geológicas
- Nivel freático debe ser conocido
- Asentamientos diferenciales pueden causar esfuerzos adicionales
- Técnicas de mejoramiento de la cimentación:
 - Sobrecarga
 - Columnas de piedra
 - Geopiers
 - Compactación dinámica
 - Relleno liviano
 - Cimentación profunda

g. Filtro. Los bloques de la fachada permiten el flujo del agua a través de la fachada, por lo que se debe evitar que muchas partículas de suelo fluyan al exterior junto con el agua, lo cual ocasionaría erosión desfavorable y todo el sistema fallaría. Se recomienda utilizar geotextil para evitar el paso de las partículas finas. También se puede colocar un filtro compuesto de grava, la cual retiene las partículas de suelo. ((FHWA) & (DOT), 2001)

Según las especificaciones de AASHTO, la granulometría del filtro grava debe tener las siguientes características:

Tabla 28: Granulometría de grava para filtro

AASHTO	
Tamaño del tamiz	Porcentaje que pasa
1 pulgada	100-75
¾ de pulgada	50-75
No. 4	0-60
No. 40	0-50
No. 200	0-5

((AASHTO), 2004)

h. Drenajes. Dependiendo de las condiciones del terreno y humedad presente en el área, es importante determinar si se deben utilizar drenes en la parte posterior del muro para evitar que el agua se presente en el relleno reforzado del muro, lo cual cambiaría las propiedades de este. Se pueden utilizar otras técnicas de drenaje como lo es en drenaje tipo francés, colocado por detrás de la fachada. También se utilizan drenes perforados compuestos de tubos perforados de PVC forrados con geotextil no tejido para evitar el paso de partículas finas de suelo. ((FHWA) & (DOT), 2001)

5. Criterios de diseño.

a. Metodología usada. Existen varias publicaciones en distintos países del mundo sobre el diseño de muros estabilizados mecánicamente, todos los procedimientos son similares. Sin embargo esta investigación se basa en la metodología recomendada por las normas AASHTO en la publicación *Standard specifications for highway bridges*, la cual se complementa por la metodología de FHWA llamada *demonstration project No. 82*, la cual se presenta en el manual *Mechanically stabilized earth walls and reinforces soil slopes design & construction guidelines*.

b. Estado límite. El estado límite de diseño se ocurre cuando la Cuña de falla se forma y el refuerzo es anclado en suelo estable por detrás de dicha del plano de falla. Si el refuerzo es demasiado débil se rompe por esfuerzos excesivos a tensión. Además, si la longitud de empotramiento es muy corta, el refuerzo es jalado y el talud falla. (Das, 1999)

c. Parámetros asumidos para el diseño. Existen varios parámetros que debe asumirse, de lo contrario el análisis sería muy complejo. Todos los puntos asumidos son conservadores para evitar un que

el muro o alguno de sus componentes pueda fallar. Para lograr un diseño efectivo es importante considerar lo siguiente:

- Propiedades de los suelos uniformes
- Suelo reforzado granular
- Establecer factores de seguridad para controlar las incertidumbres
- Drenaje para evitar fuerzas hidrostáticas
- Considerar sobrecargas actuantes sobre el muro

d. Procedimiento. Los pasos a seguir para el diseño son los siguientes:

- Definir la geometría del muro.
- Definir los parámetros de suelo retenido, de fundación y de relleno.
- Definir cargas aplicadas al sistema.
- Calcular estabilidad externa.
- Calcular estabilidad interna.

e. Empotramiento del muro. El empotramiento es la distancia a la cual la base del muro debe estar posicionada con referencia a la superficie del terreno que se encuentre frente a la fachada. El muro siempre debe quedar empotrado mínimo 50cm. Como mínimo debe de existir una sección horizontal en la base del muro de 1.2m antes de que exista un talud u otra deformación geométrica del suelo. ((FHWA) & (DOT), 2001)

f. Parámetros de los suelos. Se deben conocer los parámetros del suelo de relleno reforzado, del suelo retenido y del suelo de fundación. Las características mínimas que se deben conocer a partir de ensayos en sitio son las siguientes:

- Ángulo de fricción interna, peso unitario, cohesión y granulometría del relleno reforzado.
- Ángulo de fricción interna, peso unitario y cohesión del suelo retenido.
- Ángulo de fricción interna, peso unitario y cohesión del suelo de fundación.
- Nivel freático

g. Estabilidad externa. Se asume que el análisis de estabilidad externa para muros de suelo reforzado es el mismo que se utiliza en los muros de gravedad. El análisis de estabilidad externa asegura que la estructura se comportará de forma estable ante presiones ejercidas por el suelo retenido y cargas externas superpuestas. El análisis se compone de cuatro modos de falla por estabilidad externa: deslizamiento, volteo, capacidad soporte y estabilidad global.(Das, 1999). Los factores de seguridad se

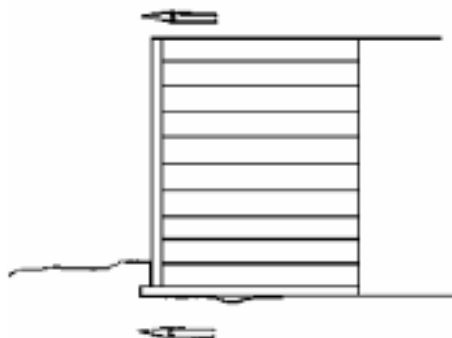
establecen para cubrir las incertidumbres que puedan existir en los parámetros asumidos para modelar el sistema matemáticamente. El sistema se debe analizar para condiciones estáticas y sísmicas. El manual de diseño y construcción de muros mecánicamente estabilizados de FHWA establece los factores de seguridad requeridos para cada tipo de análisis, además existen otros manuales como el manual de mampostería NCMA que proponen otros factores de seguridad basados en sus propios ensayos y pruebas de laboratorio. Los factores de seguridad para cada tipo de análisis son los siguientes:

Tabla 29: Factores de seguridad para análisis externo

Factores de seguridad (Estático/Sísmico)		
Análisis	AASHTO	NCMA
Capacidad portante	2.5/2.0	2.0/1.5
Deslizamiento	1.5/1.1	1.5/1.1
Volcamiento	2.0/1.5	1.2/1.5
Global	1.3/1.1	1.3/1.1

1) Deslizamiento. En el análisis de deslizamiento para el muro mecánicamente estabilizado se debe determinar el factor de seguridad por medio de una relación. Las fuerzas de empuje producidas por la fricción entre el bloque de suelo reforzado y el suelo de fundación se dividen por las fuerzas aplicadas por el suelo retenido y sus sobrecargas. (Mori, 2008)

Ilustración 19: Falla por deslizamiento

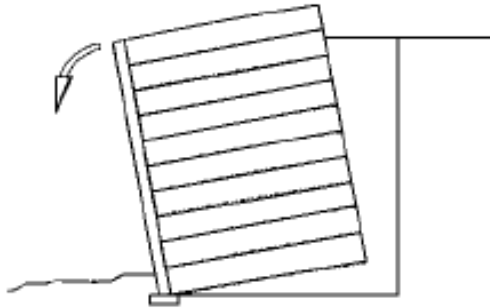


((FHWA) & (DOT), 2001)

2) Volcamiento (Volteo). Para determinar el factor de seguridad contra el volteo se, se suman los momentos producidos por las fuerzas que estabilizan al muro de gravedad, en este caso sería el momento producido por el mismo peso del bloque de suelo estabilizado. Estos momentos se dividen por los momentos que producen las fuerzas que ayudan a que ocurra el volteo, que serían las producidas por el

empuje activo del suelo contenido más los empujes producidos por las cargas aplicadas sobre el suelo retenido. (Mori, 2008)

Ilustración 20: Falla por volcamiento



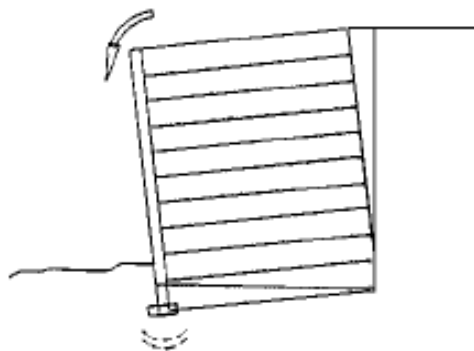
((FHWA) & (DOT), 2001)

3) Capacidad soporte (portante). El análisis de excentricidad de las fuerzas aplicadas está condicionado por el largo de la base correspondiente al muro. Al analizar las fuerzas del sistema aplicadas al muro se determina la ubicación de la resultante vertical en la base del muro, ésta se debe encontrar dentro del tercio central, y la excentricidad tiene que ser menor a un sexto de la base.

Al cumplir con estos requisitos, se determina el factor de seguridad por capacidad soporte, la cual se obtiene al dividir la capacidad soporte del suelo de fundación por la presión ejercida por la fuerza resultante en el análisis de equilibrio estático del sistema. (Mori, 2008)

El valor de capacidad soporte último del suelo se obtiene a partir de ensayos de laboratorio, por medio de pruebas controladas. Existen otros métodos para aproximar un valor cercano a la capacidad soporte del suelo por tablas y ecuaciones empíricas. (Das, 1999)

Figura 21: Falla por capacidad portante

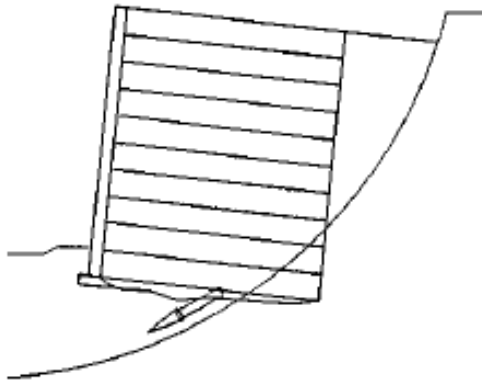


((FHWA) & (DOT), 2001)

4) Estabilidad global. En los análisis externos anteriores se determinan las dimensiones geométricas mínimas requeridas para que el muro resista las fuerzas aplicadas por las presiones externas. Sin embargo, existe otro tipo de análisis que se debe tomar en cuenta, este chequeo no solo determina la estabilidad local sino que también evalúa el muro en conjunto con el resto del talud, este análisis es llamado estabilidad global. Muchas veces se ignora este análisis, pero en condiciones donde el terreno al pie del muro continua con una pendiente descendiente o cuando la parte superior del muro tiene una inclinación ascendiente, este análisis suele tener mucha importancia y dominar en las geometrías mínimas del muro o las resistencias de diseño a tensión de los refuerzos a tensión es el suelo mecánicamente estabilizado. (Mori, 2008)

La estabilidad global de muro en conjunto se puede evaluar de la misma manera en que se analiza la estabilidad de taludes. Los métodos se mencionan anteriormente.

Figura 22: Falla por Estabilidad global



((FHWA) & (DOT), 2001)

h. Estabilidad interna. Después de haber analizado el muro por los factores de estabilidad externos se puede comenzar con el chequeo de estabilidad externa. El análisis de estabilidad interna es básicamente chequear la capacidad del esfuerzo a tensión a resistir esfuerzos de tensión pura a lo largo de su eje fuerte y la resistencia en la conexión a la fachada. También es importante revisar que el refuerzo a tensión tenga la suficiente fricción para garantizar un agarre dentro de la masa de suelo. ((FHWA) & (DOT), 2001)

1) Factores de seguridad. Los factores de seguridad se establecen para cubrir las incertidumbres que puedan existir en los parámetros asumidos para modelar el sistema matemáticamente. El sistema se debe analizar para condiciones estáticas y sísmicas. El manual de diseño y construcción de

muros mecánicamente estabilizados de FHWA establece los factores de seguridad requeridos para cada tipo de análisis, además existen otros manuales como el manual de mampostería NCMA que proponen otros factores de seguridad basados en sus propios ensayos y pruebas de laboratorio. Los factores de seguridad para cada tipo de análisis son los siguientes:

Tabla 30: Factores de seguridad

Factores de seguridad (Estático/Sísmico)		
Análisis	AASHTO	NCMA
Conexión	1.5/1.2	1.5/1.125
Tiramiento (Pullout)	1.5/1.2	1.5/1.125
Resistencia	1.5/1.2	1.5/1.125
Longitud de empotramiento	1.0 metro	1.0 metro

((AASHTO), 2004)

2) Factores de reducción. La resistencia última del refuerzo a tensión se divide por factores de reducción para determinar la resistencia admisible que se utilizará para el diseño. Dichos factores dependen de las características físicas de los elementos a tensión. Los factores deben ser dados por el fabricante del producto. La ecuación que determina la resistencia de diseño es la siguiente:

$$T_D = T_{ult} / FR = T_{ult} / (FR_{durabilidad} + FR_{instalación} FR_{creep})$$

Esta ecuación se describe a continuación. Según las normas FHWA se deben considerar los siguientes factores:

a) Factor de reducción por instalación ($FR_{instalación}$). La capacidad del refuerzo para mantener sus propiedades físicas durante el proceso de transporte e instalación se mide por medio del factor de reducción de instalación, esto se debe a los daños y desgaste que puede el elemento sufrir durante esta actividad. ((FHWA) & (DOT), 2001)

b) Factor de reducción por durabilidad ($FR_{durabilidad}$). El factor de reducción de durabilidad determina la pérdida de la capacidad del refuerzo a deteriorarse cuando es expuesto a agentes químicos encontrados en el suelo, en los refuerzos metálicos se puede identificar como corrosión presente. En materiales a base de polímeros tratados adecuadamente pueden no tener un daño al estar presente ante agentes químicos encontrados en el suelo. Los elementos presentes en el suelo que pueden dañar a los materiales son principalmente: materia orgánica, suelos modificados con presencia de cal o cemento, sales minerales y material con pH mayor a 9. ((FHWA) & (DOT), 2001)

c) Factor de reducción por creep (FRcreep). El *creep* se define como la deformación gradual, permanente producida por una aplicación continua de carga o calor. Este factor al igual que el de durabilidad depende del material que compone el refuerzo a tensión. Para conocer el valor real que se puede deformar un elemento es necesario hacer pruebas equivalentes que simules las condiciones que llevarían al elemento a deformarse durante un periodo largo equivalente al tiempo de vida de la estructura. ((FHWA) & (DOT), 2001)

3) Resistencia a la tensión (Ruptura). Los muros mecánicamente estabilizados se caracterizan por tener elementos a tensión, estos pueden ser barras metálicas o mallas de materiales a base de polímeros. Es importante conocer la resistencia de diseño determinada anteriormente mediante los factores de reducción. Los elementos a tensión funcionan en conjunto para resistir los esfuerzos producidos por los empujes del suelo y las sobrecargas cuando el talud intenta fallar en un plano que atraviesa los refuerzos. ((FHWA) & (DOT), 2001)

4) Conexión. Cuando los esfuerzos transmitidos a lo largo de los refuerzos a tensión llegan a la fachada, existe una concentración de esfuerzos en los extremos del refuerzo a tensión, por lo tanto es necesario evaluar estos esfuerzos. El procedimiento para evaluar la concentración de esfuerzos depende del tipo de conexión utilizada, que está condicionada por la fachada del muro. Los tipos de análisis se encuentran las normas de FHWA. ((FHWA) & (DOT), 2001)

5) Tiramiento (Pullout). El cheque de tiramiento determina la capacidad del refuerzo de mantener un buen agarre con el suelo, esto ocurre por medio de la fricción que existe entre el suelo y el elemento de refuerzo. El tipo de suelo influye en este análisis, la granulometría y el ángulo de fricción interno del suelo determinan como influye el material de relleno en este análisis. La forma del refuerzo y el material de éste también influyen en la capacidad de agarre. Si el tiramiento no es satisfactorio se debe incrementar el largo del refuerzo. ((FHWA) & (DOT), 2001)

Dentro del chequeo del tiramiento las especificaciones AASHTO determinan el largo del refuerzo requerido, este debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El largo del refuerzo debe ser al menos un setenta por ciento de la altura total del muro. ((FHWA) & (DOT), 2001)
- El largo total del refuerzo debe ser siempre mayor a ocho pies. ((FHWA) & (DOT), 2001)
- La longitud de empotramiento del refuerzo dentro del suelo estable, por detrás del plano de falla debe ser mayor a tres pies. ((FHWA) & (DOT), 2001)

G. Ejemplo de diseño de muro mecánicamente estabilizado.

A continuación se realizará un ejemplo que muestra el procedimiento a seguir para el diseño de un muro mecánicamente estabilizado según las especificaciones de AASHTO y el manual de diseño de muros mecánicamente estabilizados publicado por la FHWA. Las características del muro propuesto son las siguientes:

1. Geometría

a. Altura de diseño

- $H = 20$ pies.

b. Tipo de fachada

- Se utilizará una fachada de bloques de concreto con las siguientes características geométricas: ancho de 12 pulgadas, 8 pulgadas de alto y 18 pulgadas de longitud frontal.
- El peso de cada bloque es de 85 libras.

c. Empotramiento mínimo de la fachada

- El valor mayor entre $H/2$ ó 0.50 metros (1.67 pies).
- En este caso se utiliza 1.67 pies.
- Esta altura no se incluye en la altura de diseño

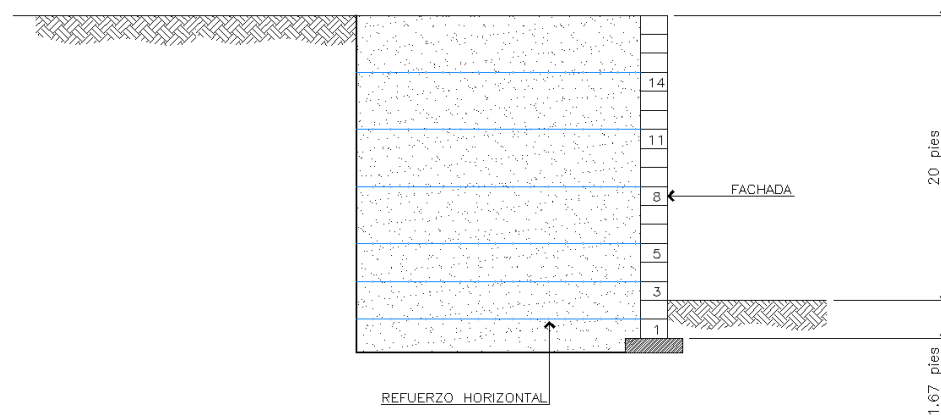
d. Inclinación de la fachada

- La inclinación de la fachada es de 0° con respecto al eje vertical.

e. Inclinación del terreno

- El terreno por encima de la fachada es totalmente horizontal.
- El terreno en la base del talud se mantiene horizontal

Ilustración 23: Estabilidad interna de muro mecánicamente estabilizado



2. Propiedades del suelo

a. Suelo reforzado

- Angulo de fricción interno ϕ : 34
- Cohesión (psf): 0
- Peso específico (pcf): 125

b. Suelo retenido

- Angulo de fricción interno ϕ : 30
- Cohesión (psf): 0
- Peso específico (pcf): 120

c. Suelo fundación

- Angulo de fricción interno ϕ : 30
- Cohesión (psf): 0
- Peso específico (pcf): 120

3. Nivel freático

- No se encuentra presente en el suelo.

4. Cargas externas

- Carga muerta, DL: 0
- Carga viva, LL: 250 psf
- Sismo: 0

5. Estabilidad externa

Se debe revisar el deslizamiento, volteo y capacidad soporte. También se debe revisar la estabilidad global y planos de falla.

a. Factores de seguridad

- Deslizamiento: $FS_{\text{deslizamiento}} \geq 1.5$
- Excentricidad: $FS_{\text{excentricidad}} \leq L/6$
- Capacidad Soporte: $FS_{\text{capacida.soporte}} \geq 2.5$

b. Otros chequeos

- $L/H \geq 0.74H$ (8 pies mínimo)
- $Le \geq 3$ pies
- μ (ángulo de fricción para deslizamiento en la base): valor menor ϕ_{refuerzo} y $\phi_{\text{fundacion}}$
- μ (ángulo de fricción para deslizamiento por debajo del refuerzo más bajo): $0.75 \tan(\phi_{\text{refuerzo}})$

c. Cálculo de empuje

- Se utiliza la metodología de cálculo de presión activa de Rankine.
- Conservadoramente no se utiliza el peso se la fachada.
- Coeficiente de presión activa:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_{\text{retenido}}}{2} \right) = 0.333$$

d. Deslizamiento en la base del muro

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum \text{Fuerzas Resistentes}}{\sum \text{Fuerzas de empuje}} \geq 1.5$$

- Fuerzas de empuje:
- $F_{empuje} = f_1 + f_2 = 0.5K_a\gamma_{retenido}H^2 + qK_aH = 11,196.5 \text{ plf}$
- Ángulo de fricción deslizamiento en la base:

$$\mu = \tan(\phi_{fundación}) = 0.5774$$

- Longitud de la base: valor menor entre 0.7H y 8 pies.

$$L = 0.7H = 15.17 \text{ ft}$$

- Fuerzas resistentes:

$$F_r = \gamma_{reforzado} * H * L = 23,724.8 \text{ plf}$$

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum \text{Fuerzas Resistentes}}{\sum \text{Fuerzas de empuje}} = 2.12 > 1.5$$

e. Deslizamiento por debajo del refuerzo inferior

El procedimiento es igual al realizado anteriormente para el deslizamiento en la base. Los resultados son los siguientes:

- Fuerzas de empuje:

$$F_{empuje} = f_1 + f_2 = 0.5K_a\gamma_{retenido}H^2 + qK_aH = 10,559.4 \text{ plf}$$

- Fuerzas resistentes:

$$F_r = \gamma_{reforzado} * H * L = 19,910.6 \text{ plf}$$

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum \text{Fuerzas Resistentes}}{\sum \text{Fuerzas de empuje}} = 1.89 > 1.5$$

f. Volteo

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum \text{Momentos Resistentes}}{\sum \text{Momentos Volcantes}} \geq 2.0$$

- Momentos resistentes:

$$\sum M_R = \gamma * H * (L/2) = 311,681 [p * ft]$$

- Momentos volcantes:

$$\sum M_V = F_1(H/3) + F_2(H/2) = 87,393 [p * ft]$$

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} = 3.57 \geq 2.0$$

g. Excentricidad

- Excentricidad en la base del muro:

$$e = \frac{F_1 X_1 + F_2 X_2}{V_1 + qL} = 1.95 ft$$

- Chequeo: excentricidad menor a un sexto del largo de la base

$$\frac{L}{6} = 2.53 ft > e$$

- Largo equivalente para cálculo de capacidad soporte:

$$B = L - 2e = 11.27 ft$$

- Presión en la base:

$$Q_a = \frac{Q_1 + ql}{B} = 3,982.6 psf$$

- Capacidad soporte del suelo:

$$Q_{ult} = C_\gamma + N_c + 0.5 * B * \gamma_{fundacion} * N_\gamma = 15,146.9 psf$$

- Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{Q_{ult}}{Q_a} = 3.80 > 2.5$$

6. Estabilidad interna

- Factor de seguridad por ruptura ≥ 1.5
- Factor de seguridad por pullout (tiramiento) ≥ 1.5
- Longitud de empotramiento ≥ 3.0 ft

a. Presión activa del relleno reforzado

- Se utiliza la metodología de cálculo de presión activa de Rankine.
- Conservadoramente no se utiliza el peso se la fachada.
- Coeficiente de presión activa:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\Phi_{\text{relleno}}}{2} \right) = 0.2827$$

b. Plano de falla

- Se asume que el plano de falla se encuentra a un ángulo $45 + \phi/2$ con respecto a la vertical.

c. Refuerzo a tensión

- Se utiliza malla de polietileno de alta densidad como refuerzo horizontal en el muro mecánicamente estabilizado.
- El espaciamiento vertical del refuerzo se limita a un mínimo de 12 pulgadas (ancho de un bloque). El espaciamiento máximo se limita a 36 pulgadas.
- Radio de cobertura al 100%.

d. Factores de reducción

- Factor de reducción por deformación gradual (creep): 1.05
- Factor de reducción por durabilidad: 1.0
- Factor de reducción por daños de instalación: 2.6

e. Esfuerzo de diseño a tensión

Se establecen tres tipos de mallas con esfuerzos últimos a tensión distintos, esto permitirá escoger un diseño eficiente. Las propiedades de las mallas de refuerzo son las siguientes:

Tabla 31: Esfuerzos a tensión de geomallas seleccionadas.

Malla	T_{ult}	Rf_i	RF_d	RF_c	T_a	F.S.	T_d (lb/ft)
A	3970	2.6	1.05	1.0	1454	1.5	969.5
B	4800	2.6	1.05	1.0	1758	1.5	1172.2
C	7810	2.6	1.05	1.0	2861	1.5	1907.2

f. Tensión máxima en los niveles de refuerzo

- Se calcula el esfuerzo máximo en cada nivel según la siguiente ecuación:

$$T_{max} = \sigma_H * S_v$$

- σ_H = esfuerzo horizontal debido al empuje activo del suelo.
- S_v = espaciamiento vertical entre mallas.
- Luego de calcular la tensión máxima (T_{max}) se escoge la malla que tenga una resistencia a tensión de diseño (T_d) que pueda resistir los esfuerzos aplicados cumpliendo con los factores de seguridad establecidos. Los resultados son los siguientes:

Tabla 32: Tensión máxima y factor de seguridad para cada nivel de refuerzo

Elevación	r_H	S_v	T_{max}	Malla	T_d	F.S.
0.67	813	1.67	1357	C	1907.2	2.1
2.67	742	2	1484	C	1907.2	1.92
4.67	671	2	1343	C	1907.2	2.13
6.67	601	2	1201	C	1907.2	2.38
8.67	530	2	1060	B	1172.2	1.66
10.67	459	2	918	A	969.5	1.58
12.67	389	2	777	A	969.5	1.87
14.67	318	2	636	A	969.5	2.28
16.67	247	2	494	A	969.5	2.93
18.67	177	2	353	A	969.5	4.11
20.67	106	1.5	159	A	969.5	9.14

g. Tiramiento (Pullout)

1) Longitud de empotramiento. Se calcula la longitud mínima de empotramiento para cada nivel de refuerzo según la siguiente ecuación:

$$L_e = \frac{F.S.*T_{max}}{C * F * (\gamma Z) * R_c * \alpha} \geq 3 ft$$

- $F.S.$ = Factor de seguridad para el pullout
- T_{max} = Tensión máxima en el nivel de refuerzo
- C = coeficiente del material, para geomallas es 2.0
- F = factor de resistencia al pullout, para geomallas es $0.8*\tan(\phi_{refuerzo})$.
- (γZ) = esfuerzo vertical
- R_c = radio de cobertura
- α = factor de correccion (1.0)

2) Distancia al plano de falla. Se calcula la distancia de la fachada al plano de falla según la siguiente ecuación:

$$L_a = (H - Z) * \tan(45 - \phi/2) - (H - Z) * \tan(\theta)$$

Donde θ es la inclinación de la fachada, en este caso es cero.

3) Largo total del refuerzo a tensión. El largo total del refuerzo es la suma de la longitud de empotramiento y la distancia de la fachada al plano de falla. Además se establece el largo mínimo de 0.7 veces la altura del muro.

$$L_{tot} = L_a + L_e \geq 0.7H$$

4) Factores de seguridad. Se calculan los factores de seguridad para todos los niveles de refuerzo a tensión. Los resultados son los siguientes.

Tabla 33: Longitud de empotramiento y factor de seguridad de tiramiento

Z	Le	La	0.7H	L _{tot}	F.S.
21.00	3.00	0.36	3.36	15.17	20.61
19.00	3.00	1.42	4.42	15.17	15.83
17.00	3.00	2.48	5.48	15.17	14.44
15.00	3.00	3.55	6.55	15.17	13.05
13.00	3.00	4.61	7.61	15.17	11.64
11.00	3.00	5.68	8.68	15.17	10.22
9.00	3.00	6.74	9.74	15.17	8.76
7.00	3.00	7.80	10.80	15.17	7.29
5.00	3.00	8.87	11.87	15.17	5.73
3.00	3.00	9.93	12.93	15.17	4.00
1.00	3.00	11.00	14.00	15.17	2.36

$$F.S. = \left(\frac{L_{tot} - L_a}{L_e} \right)$$

h. Cálculo de conexiones

Se calcula el esfuerzo a tensión admisible para la conexión utilizando la siguiente ecuación:

$$T_{ac} = \frac{T_{ult} * (CR_u)}{FS * (RF_{cr}) * (RF_D)}$$

- T_{ult} = Resistencia a tensión de la malla sin factorar.
- (CR_u) = factor de reducción para el esfuerzo ultimo resultante de la conexión.
- FS = factor de seguridad para la conexión (1.5)
- (RF_{cr}) = factor de reducción para el creep en la fachada (2.6)
- (RF_D) = factor de reducción de degradación en la fachada (1.1)

Luego se calcula el factor de seguridad para cada nivel de refuerzo.

$$F.S. = \left(\frac{1.5 * T_{ac}}{T_{max}} \right)$$

Tabla 34: Tensión máxima en conexión y factor de seguridad

Elevación	Malla	Tmax	Tac	F.S.
0.67	C	1357	1821	2.01
2.67	C	1484	1821	1.84
4.67	C	1343	1821	2.03
6.67	C	1201	1821	2.27
8.67	B	1060	1118	1.58
10.67	A	918	925	1.51
12.67	A	777	925	1.79
14.67	A	636	925	2.18
16.67	A	494	925	2.81
18.67	A	353	925	3.93
20.67	A	159	925	8.73

7. Cálculo de estabilidad global. Después de obtener todos los análisis de estabilidad externa e interna con valores de seguridad satisfactorios según el método de diseño y las normas utilizadas, se debe analizar el muro de contención en conjunto al resto del talud. En este caso se utilizará el método simplificado de Bishop debido a que el suelo retenido y de fundación es homogéneo y no se encuentran estratos rocosos que ocasionen una falla planar entre la interacción entre distintos estratos de suelo o roca. La solución es estáticamente indeterminada, por lo que utilizará un programa basado en la metodología de la *Federal highway administration*, el programa es llamado *MesaPro*TM. Los resultados del análisis son los siguientes:

- Factor de seguridad mínimo requerido para análisis estático: 1.5
- Factor de seguridad calculado según falla más crítica: 1.608

Por lo tanto, el muro cumple con todos los requerimientos mínimos establecidos por las normas AASHTO.

Ilustración 24: Análisis de estabilidad global para muro mecánicamente estabilizado

(X1,Y1) and (X2,Y2) are coordinates of the diagonally opposite centers of slip circles that define the boundaries of the search grid. Note that the origin of the axis system, (X0,Y0), is set at the toe.

$X_1 =$ [m] $X_2 =$ [m]
 $Y_1 =$ [m] $Y_2 =$ [m]

$N_x =$ number of centers in X-direction $N_x =$
 $N_y =$ number of centers in Y-direction $N_y =$

$X_{pi} =$ [m] $X_{pf} =$ [m]
 $Y_{pi} =$ [m] $Y_{pf} =$ [m]

(Xp,Yp) = coordinate of a point through which the potential failure circle must pass.
 Subscripts i and f pertain to initial and final specified points.

$N_p =$ number of Xp points including initial and final points $N_p =$

For Help, press F1

MesaPro™

Ilustración 25: Resultados de análisis de falla global

RESULTS OF CIRCLES EMERGING AT FACE

	Reinforcement layer		Slip Circle Emerges at:		Critical Circle			Factor of Safety Fs		Prescribed factor of safety = 1.30	NOTE	Single run	Print map
	Elevation [m]	Length [m]	X [m]	Y [m]	Radius [m]	Xc [m]	Yc [m]	Calculated	N/A	Calculated Fs:			
1	0.20	6.00	0.00	0.20	14.93	-2.00	15.00	2.348		On edge of specified search grid	Re-Run	Print	
2	0.60	6.00	0.01	0.60	14.43	-1.00	15.00	2.328		On edge of specified search grid	Re-Run	Print	
3	1.20	6.00	0.01	1.20	13.84	-1.00	15.00	2.624		On edge of specified search grid	Re-Run	Print	
4	1.80	6.00	0.02	1.80	13.20	-0.00	15.00	2.965		On edge of specified search grid	Re-Run	Print	
5	2.40	6.00	0.02	2.40	12.60	-0.00	15.00	3.368		On edge of specified search grid	Re-Run	Print	
Toe		Toe:	0.00	0.00	14.43	-1.00	14.40	2.155		Within specified search grid	Re-Run	Print	

RESULTS OF DEEP-SEATED CIRCLES

	Xp [m]	Yp [m]	Radius [m]	Xc [m]	Yc [m]	Calculated	N/A	Calculated Fs:	Single run	Print map
1	1.00	0.00	15.30	-2.00	15.00	2.072		On edge of specified search grid	Re-Run	Print
2	3.00	0.00	14.50	-3.00	13.20	1.808		Within specified search grid	Re-Run	Print
3	5.00	0.00	14.41	-2.00	12.60	1.608		Minimum static Fs	Re-Run	Print
4	7.00	0.00	14.42	-1.00	12.00	1.667		Within specified search grid	Re-Run	Print

Click on numeral buttons to view detailed intermediate results

 For Help, press F1

MesaPro™

**VI. ANÁLISIS DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LOS MANUALES DE
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DE SIECA**

A. Introducción

Los manuales de infraestructura vial de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, surgen como un componente del programa de modernización de normas técnicas aplicables a las carreteras y al transporte, en el año de 1,999 cuando el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica COMITRAN formalizara dicho convenio. Esta iniciativa busca una actualización en los estándares de la construcción con el objetivo de implementar los últimos avances en infraestructura, por otra parte se enfoca a generar una homogeneidad de normas técnicas partiendo de la conceptualización de una red regional de carreteras.

Este trabajo cumple con la finalidad de identificar aspectos claves en el diseño que requieren una evaluación de su contenido dentro de los manuales con el objetivo de proponer mejoras y ampliaciones. Los aspectos aislados fueron el hidrológico e hidráulico a raíz de las condiciones ambientales y topográficas que enfrenta el diseño de carreteras centroamericanas y la problemática de a fallas prematuras en carreteras generadas por el agua.

Se parte de una evaluación de los manuales de infraestructura vial, para mostrar la situación actual de desarrollo de la literatura técnica. Para identificar los manuales a ser objeto de análisis, estudio de los contenidos de los manuales de infraestructura vial. Los manuales que consideran en mayor o menor grado dichos aspectos, se presentan a continuación en sus últimas ediciones: *Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras*, en su edición 2002; *Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales*, en su edición 2004; *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales*, en su edición 2004; *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*, en su edición 2002.

Los manuales seleccionados muestran criterios y cálculos relacionados a la estimación de caudales de diseño y determinación de drenajes de carreteras. Estos realizan aportes relacionados al establecimiento del trazo de la carretera, recomendaciones en cuanto al manejo de aguas superficiales provenientes de lluvias, consideraciones sobre inundaciones, descripciones y dimensionamiento de elementos de drenaje en el diseño geométrico.

Tras realizada la revisión se identifica un déficit en la estimación de caudales y el cálculo para el dimensionamiento de drenajes. Se sigue un proceso de investigación para identificar documentos de diseño hidrológico e hidráulico de carreteras y una sinopsis de manuales para el diseño de carreteras generados por instituciones gubernamentales de países con clima ecuatorial para llegar a tener una fuente bibliográfica para el diseño hidrológico e hidráulico de carreteras en países con condiciones climáticas similares.

Este análisis comparativo con los manuales de SIECA, permite identificar temas a ser ampliados y así contribuir a futuras revisiones de estos manuales.

B. Resumen de contenido de los manuales de infraestructura vial de SIECA

Este resumen busca resaltar aquellos temas que tengan implicancia en los criterios y cálculos relacionados a la estimación de caudales de diseño y determinación de drenajes de carreteras. Estos temas cumplirán con destacar la necesidad de una buena planificación y trazo de la ruta, reconocimiento de las condiciones hidrológicas del lugar interaccionarán con la carretera, y cálculos hidráulicos en el diseño de obras de captación, conducción y evacuación de la escorrentía de forma controlada.

1. Manual CA de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, 2002. El manual se formaliza pensando en una normativa ambiental para los diversos trabajos de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. El manual se basa en la necesidad de que exista una buena interacción entre la infraestructura y el medio ambiente. Se tendrá presente que la infraestructura vial es una forma de ocupación del espacio en el medio ambiente que se visualiza como un todo organizado, que llega a tener un efecto directo o indirecto sobre el mismo. Sin olvidar que de igual forma el medio ambiente y los factores que lo conforman afectan la infraestructura hasta el grado de interrumpir la vialidad. Por lo tanto los proyectos viales no deben pasar por alto dicha interrelación para no producir un desbalance entre los recursos naturales y la infraestructura. En cuanto al interés que atañe el presente resumen el manual aborda temas hídricos en forma de normas para las siguientes etapas:

- Etapa de planificación, en la sección A.
- Etapa de diseño, sección B.
- Etapa de construcción, sección C.

a. Consideraciones del manual para la etapa de planificación. El manual reconoce la ineludible interacción de la carretera con el entorno y de la importancia de realizar un análisis cuidadoso para la selección de la ruta incluyendo estudios basados en mapas topográficos bajo diferentes enfoques, fotografías aéreas y visitas de campo. Los criterios a considerar en cuanto a los temas hídricos son los siguientes:

- La ruta que se elija deberá atravesar la menor cantidad posible de cursos de agua, tanto permanentes como temporales.
- En sitios con niveles freáticos poco profundos se optara por ubicar la carretera en suelos con buena permeabilidad, además de ser estables.

Para esta etapa se deberá aplicar las siguientes normas ambientales en relación al tema:

- Análisis de la red de drenaje con el objeto de tener una aproximación de las zonas inundables, las susceptibles a sufrir daños por fenómenos provocados por escorrentía superficial, para definir la reparación o colocación de alcantarillas.
- Investigación de reportes de inundaciones en el área con el objeto de desarrollar mapas de vulnerabilidad.
- Planificación de sistemas de drenaje pluviales temporales para áreas de explotación de materiales.
- En todas las etapas del ciclo vial se debe tomar en cuenta la vulnerabilidad a desastres naturales y contemplar la previsión de posibles fenómenos naturales de determinadas magnitudes.

b. Consideraciones para la etapa de diseño. Realizado el levantamiento topográfico del trazo de la carretera deberán identificarse las zonas con movimiento de aguas subterráneas que pueda afectar la obra, o donde ésta pueda alterar las líneas naturales de flujo.

Se deberá establecer la capacidad volumétrica de botaderos de material prestando especial atención a que los sitios no se encuentren en humedales, fuentes de agua, quebradas importantes que puedan ser obstruidas y que se causen problemas aguas abajo.

El análisis de los recursos hídricos, suelos y bosques se debe realizar a nivel de cuenca, contemplándose, dentro de otros, los siguientes aspectos: cantidad, calidad y distribución de los recursos, limitaciones de uso, redes de drenaje y cuerpos de agua que pueden ser afectados. Considerar aspectos climáticos tales como cambios atmosféricos, ocurrencias de estos fenómenos, régimen de lluvias, temperaturas y vientos.

Dentro de las normas específicas sobre manejo de recursos naturales se tienen las siguientes observaciones relacionadas:

- Para evitar daños por aguas subterráneas se deberán construir como obras principales: drenes horizontales, filtros longitudinales y trincheras estabilizadoras ya que el agua subterránea produce un aumento del peso de la masa deslizante, un incremento de la presión hidrostática en las grietas y un incremento de la presión de poros, lo cual da origen a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.
- Cuando existe la presencia de humedales es necesario el uso de varios desagües con el fondo a nivel de tierra, para evitar erosión y permitir la libre circulación de las aguas.

c. Consideraciones para la etapa de construcción. Se deberán preparar los equipos y materiales necesarios para garantizar el correcto manejo de las aguas lluvias, antes de realizar cualquier

movimiento de tierras en el área donde se construirá el campamento. Se deberán construir sistemas de drenajes superficiales, revestimientos, trampas de sedimentación y se canalizando las aguas minimizando los efectos de erosión.

En la apertura y adecuación de carreteras se reconoce que el desmonte en la zona de calzadas, bermas y cortes proyectados para la conformación de la estructura vial produce un aumento de la escorrentía superficial.

Para bancos de préstamos en ríos deberán localizarse aguas abajo de los puentes y de las captaciones para acueductos a un mínimo de 200, teniéndose en cuenta los análisis efectuados sobre la dinámica fluvial. Cuando así lo requiera las explotaciones aguas arriba de las obras mencionadas, deben estar ubicadas a un mínimo de 1km. Si la explotación se hace dentro del cauce, ésta deberá hacerse hasta un máximo de 1.50 m de profundidad, evitando la profundización del lecho natural y los cambios morfológicos del río.

Se prestará atención a la protección de las márgenes de los ríos ya que son fundamentales para evitar desbordamientos en épocas de crecientes importantes. Se recomienda como método de extracción para la explotación de los lechos aluviales la utilización de equipo mecánico como retroexcavadora y cargador frontal.

Los materiales sobrantes se deberán de disponer en lugares previamente estudiados de manera que no interfiera con el drenaje superficial.

Para cortes y rellenos o terraplenes, en el caso de que se forme un área de empantanamiento se tendrá que disponer de obras de drenaje, como filtros longitudinales y cunetas, que conduzcan las aguas hacia drenajes naturales.

En secciones típicas para rellenos sobre áreas húmedas, el fondo de los rellenos deberán ser contruidos con materiales granulares, que ofrecen drenaje libre. También se debe considerar el uso de una capa filtrante de arena, colocada debajo del relleno y/o geotextiles.

Como medidas de protección de taludes, para el caso en que los drenajes naturales que tengan que ser interceptados por los cortes, deberán ser canalizados mediante estructuras escalonadas con el fin de proteger el talud y evitar erosión e inestabilidad en el mismo.

Las zanjas en la corona o parte alta de un talud, debe ser utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando su paso por el talud. No deben construirse paralelas al eje de la vía, ni muy cerca al borde del talud para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes, deben quedar distantes de las grietas de tensión en la corona del talud. Éstas deben quedar completamente impermeabilizadas y con la pendiente suficiente para garantizar una rápida evacuación del agua captada.

Se deben diseñar estructuras de vertimiento cuyo propósito es el de disipar la energía de la corriente en pendientes fuertes. Entre las estructuras de este tipo se encuentran: caídas o rápidas escalonadas, con dientes o con salto.

1) Construcción de obras de drenaje. Un buen diseño en carreteras deberá proporcionar el drenaje necesario para evitar cualquier tipo de empantanamiento por la construcción de terraplenes, primeramente porque disminuye el nivel de servicio de la carretera, pueden producir inundaciones y genera un deterioro de la carretera misma, tanto por el efecto de la escorrentía sobre ella, como por la acción de la infiltración.

Las normas enfocadas a prevenir y minimizar los impactos que puedan generarse por la construcción de obras de drenaje, pontones y puentes son las siguientes:

- Los bordes externos de las cunetas y zanjas, de preferencia deben ser construidas en forma que faciliten el crecimiento de una cubierta vegetal así como su mantenimiento. Se deberá considerar reducir la velocidad del agua con pretilos de contención y disipadores de energía o bien, revestir los bordes externos de las cunetas con vegetación o materiales tales como suelo-cemento plástico, zampeado con mortero, zampeado con piedra suelta, concreto o geosintéticos.
- Las contracunetas descargarán en cauces naturales, mediante bajaderos revestidos apropiadamente.
- Asegurar la protección contra la erosión a la entrada y salida de los conductos de drenajes transversales las cuales consisten en diques y pretilos de mampostería construidos con espaciamientos que permiten mantener la pendiente dentro de valores que no propicien la erosión.
- Los cortes y demás obras de excavación deben avanzar en forma coordinada con las de drenaje del proyecto. Esto para evitar daños a la propia construcción.
- Los drenajes que confluyan directamente a un río deberán seguir la menor pendiente para una reducción gradual de la energía. En caso no fuera posible se deberá de construir obras civiles de protección mecánica para el vertimiento de aguas, como estructura de disipación de energía a la salida.
- Las obras de drenaje transversales de mayor magnitud no deben alterar o cambiar el cauce natural del cuerpo de agua y deben ser realizadas preferentemente en época seca.

2. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. El manual es un componente desarrollado por SIECA como respuesta al Programa Modernización de Normas Técnicas aplicables a las carreteras y al transporte, el cual fue emitido en el año de 1999 por El Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica

(COMITRAN). La primera publicación es realizada en marzo de 2001 y es actualizada para marzo de 2004 en su segunda edición de conformidad con las instrucciones del COMITRAN para el seguimiento sobre la operatividad y eficiencia del Manual.

El propósito del manual está vinculado al mejoramiento de la región para mitigar los efectos transnacionales de las calamidades mediante el desarrollo de lineamientos y estándares regionales actualizados que coadyuvan en la reducción de la vulnerabilidad del sistema vial ante los desastres naturales. Éste tiene como base de aspectos meramente técnicos publicaciones de entidades especializadas entre ellas: AASHTO Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte, FHWA Administración Federal de Carreteras, ASTM Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ACI Instituto Americano del Concreto, ACPA Asociación Americana de Pavimentos de Concreto, AISC Instituto Americano de la Construcción de Acero, entre otras.

Presenta una estructuración por divisiones, siendo la División 600 “Construcciones conexas” la que presenta lo relacionado a drenajes y subdrenajes en carreteras. De estrecha relación también se presenta la División 700 “Materiales” con las subdivisiones que tratan de especificaciones de tuberías para drenajes.

a. Construcciones conexas

- Sección 602 Alcantarillado y drenajes: Construcción de alcantarillas, drenajes y alcantarillas de caja de concreto prefabricado.
- Sección 603 Chapas o láminas estructurales: Relacionadas a la construcción de tuberías de láminas estructurales, arcos, tuberías arqueadas, cajas y viaductos inferiores.
- Sección 604 Pozos de registro, tomas y tragantes: En relación a la construcción, o ajuste de pozos de registro, tomas, tragantes, cajas de distribución, y cámaras disipadoras de energía (quebra gradiente.)
- Sección 605 Subdrenajes: Relacionado en proveer e instalar subdrenajes, camas drenantes.
- Sección 606 Vertederos de metal corrugado.
- Sección 607 Limpieza, reacondicionamiento y reparación de estructuras de drenajes existentes: En relación a la limpieza, el reacondicionamiento, y la reparación de estructuras de drenaje existentes.
- Sección 608 Revestimiento de cunetas y canales: Este trabajo consiste en el revestimiento de cunetas, canales, vertederos y similares.
- Sección 609 Cordón o bordillo y cuneta: Este trabajo consiste en la construcción o el restablecimiento del cordón o bordillo, combinación de cordón y cuneta, o barrera hecha de llantas de automóvil.

- Sección 610 Drenajes horizontales con tubería perforada: Este trabajo consiste en la construcción de drenajes horizontales con tubería perforada, incluyendo el sistema colector cuando se especifica.

b. Materiales

- Sección 706 tuberías de concreto y de plástico: Solo hace referencia a códigos de la AASHTO con los que debe de cumplir.
- Sección 707 Tubería metálica: Remite a códigos de la AASHTO para su fabricación de Tubería para alcantarilla de hierro dúctil, Tubería de acero corrugado con recubrimiento metálico, Tubería corrugada de aleación de aluminio, etc.
- Sección 714 materiales geocompuestos y geotextiles para drenaje: Detalle de fabricación de geotextiles, requisitos físicos y procedimientos de evaluación. Drenes geocompuestos. Remitiendo a códigos de la ASTM.

3. Manual centroamericano para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

Como parte de la iniciativa de implementación del proyecto de modernización y armonización de normas técnicas aplicables a las carreteras y el transporte por carreteras dentro de la región Centroamericana se llevó a la redacción del presente manual con la aprobación de los representantes de los cinco países de la región y de la SIECA. Por la conformación y aprobación de la Red de Carreteras Regionales el presente manual se realiza por la consecuente necesidad de que el diseño geométrico se rija por normas y procedimientos de alcance regional que asegure una coherencia y uniformidad funcional.

a. Componentes principales del diseño geométrico. El Capítulo 4 de “Componentes principales del diseño geométrico” incluye la mayoría de consideraciones relacionadas al tema, específicamente en los incisos 4.3.1 Los Carriles de Circulación, 4.3.2 Hombros o espaldones, 4.3.5. Drenaje Superficial y sección 4.6 de Alineamiento vertical.

1) Pendiente transversal de los carriles. Normalmente la pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser del 2.0 por ciento del centro de la sección hacia fuera. Cuando existan más de dos carriles por sentido, cada carril adicional irá incrementando pendiente transversal entre 0.5 y 1.0 por ciento.

En este punto se hace la salvedad que para áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2.5 por ciento, con un medio por ciento incremental en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4.0 por ciento.

2) Hombros o espaldones. Dentro de la práctica corriente de diseño de los hombros, debe considerarse una pendiente máxima transversal del 5 por ciento dependiendo de la pluviosidad del lugar, empezando con un mínimo de 2 por ciento. Por tipo de superficie, los hombros pueden tener pendientes transversales de 2 al 6 por ciento cuando se trata de hombros asfaltados o con concreto hidráulico, de 4 a 6 por ciento en hombros revestidos de grava y de 8 por ciento en hombros engramados. En curvas horizontales con sobreelevación, predomina el porcentaje de sobreelevación de la calzada. En las obras de arte no deberá variarse esta disposición.

3) Bordillos y cunetas. Los bordillos se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

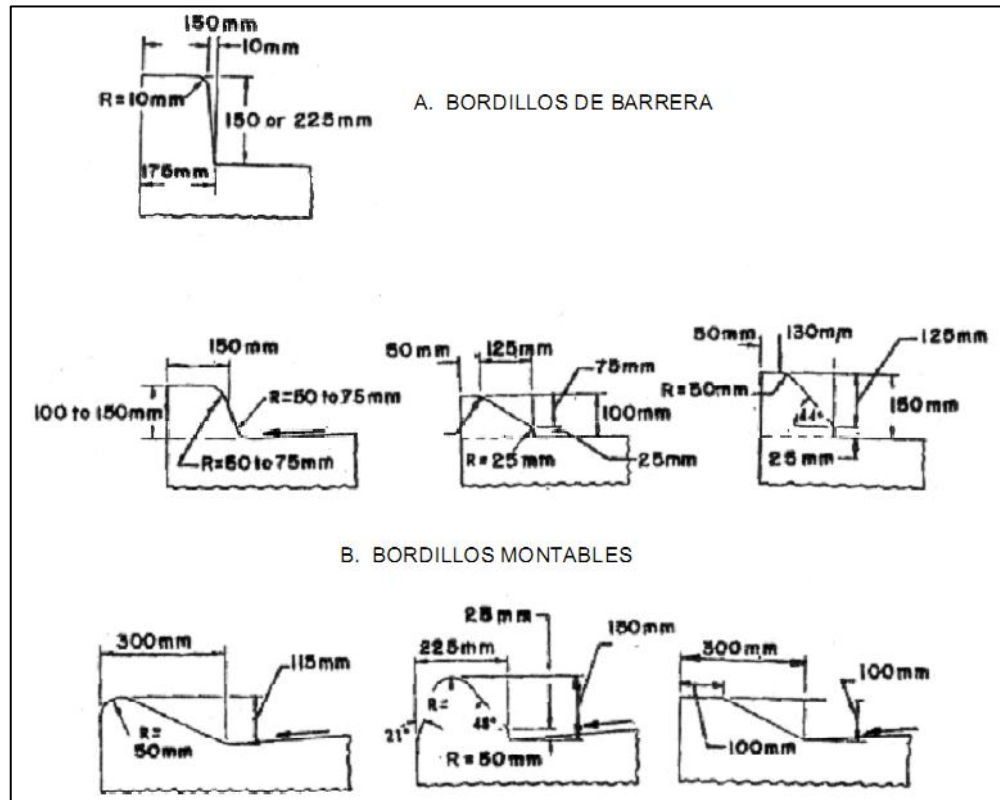
Típicamente los bordillos se clasifican en montables y de barrera o no montables, según que tengan la altura y conformación apropiada para que los vehículos automotores puedan abordararlos o no.

Los bordillos de barrera son relativamente altos y con la cara relativamente vertical, redondeados en su parte superior para reducir las aristas cortantes, con un radio de 1 a 2.5 centímetros. La altura de este bordillo puede estar comprendida entre 15 y 22.5 centímetros. Los bordillos de barrera combinados con aceras de seguridad son muy útiles a lo largo de paredes altas y túneles, haciendo que el conductor se separe de dichos bordillos con beneficio para la seguridad del peatón.

Los bordillos montables, por su parte, son diseñados para que los vehículos puedan cruzarlos cuando así se requiera y sea permisible o cuando accidentalmente haya que pasar sobre ellos. Cuando la cara del talud del bordillo es mayor de la relación 1:1, su altura debe limitarse a 10 centímetros o menos, pero si este talud se diseña entre 1:1 a 2:1, su altura puede ser incrementada a 15 centímetros. En algunas ocasiones los bordillos se construyen con una porción vertical en la base de unos 2.5 centímetros, como previsión para futuros revestimientos del pavimento, aunque si la sección inclinada excede de una altura total de 15 centímetros, ya no se califica como un bordillo montable.

Combinados con una sección de cuneta, los bordillos pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El bordillo-cuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los tragantes y tuberías de drenaje.

Ilustración 26: Secciones típicas de bordillos-cunetas en carreteras.



(SIECA, 2004)

4) Drenaje superficial. Se prescribe que este debe ser efectivo para evacuar rápidamente las aguas superficiales del pavimento evitando la infiltración en la estructura del mismo, además de evitar que el lodo o suciedades penetren los lados del carril exterior de circulación.

Se menciona para buscar la uniformidad, que la cuneta lateral más usada es la que tiene forma trapezoidal con un ancho de fondo entre 2.0 y 3.0 metros y profundidad variable, prefiriéndose las de poca profundidad para que ayuden a disminuir la velocidad de la corriente y la erosión del suelo del fondo, cuando no son revestidas. También existen secciones triangulares para este tipo de obra, con cierto grado de tradición en su uso. Este tipo de drenajes debe revestirse cuando la velocidad de las corrientes sea alta, en suelos erosionables situados en pendientes fuertes. Las pendientes de las paredes de las cunetas, del lado de la calzada, no deben superar la relación 4:1 (4 horizontal y 1 vertical).

En carreteras con mediana central, generalmente se usa un drenaje al centro, en un área deprimida de poca profundidad y con pendientes sumamente suaves, que evacúan las aguas hacia tragantes conectados a

tubos instalados debajo de las calzadas, para alejar el agua fuera de la obra vial. Pendientes construidas de esa forma son muy útiles en caso de accidentes, evitando que éstos sean de mayores consecuencias.

Las contracunetas se construyen sobre el terreno natural en la zona del derecho de vía adyacente y a lo largo del borde superior de los taludes en corte, con el propósito de interceptar las aguas que fluyan hacia la parte principal de la carretera y desviarlas hacia las cunetas o alcantarillas. Se proyectan tomando en cuenta el escurrimiento posible, la configuración del terreno y las características geotécnicas de los suelos donde están localizadas. Cuando existan filtraciones en puntos a lo largo de su recorrido, que afecten la estabilidad de los taludes de corte de la carretera, se deberán revestir los puntos críticos. Los rápidos conducen el agua hacia niveles inferiores cuando la cuneta está localizada en sitios de pendientes fuertes. Son canales abiertos o cerrados que se pueden revestir con concreto, mampostería, o tubería metálica, tomando en cuenta la magnitud de la escorrentía superficial.

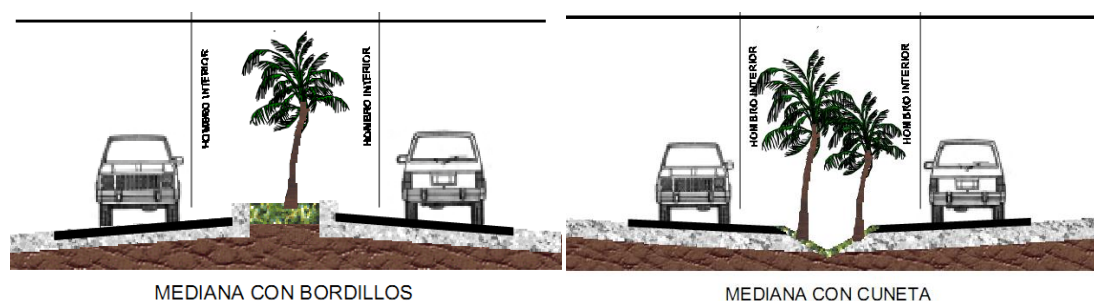
5) Medianas o franjas separadoras centrales. La mediana o franja separadora central es una franja de terreno localizada al centro de los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas, recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación de 4 a 1 puede ser igualmente aceptable. Todos los tragantes de drenaje en la mediana deben construirse a ras del suelo y protegidos con parrillas, para que no se constituyan en peligrosos obstáculos para los vehículos descarriados.

Tabla 35: Anchos de medianas recomendables para las carreteras de la red vial regional.

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AR	Autopistas Regionales	4 – 12
TS	Troncales Suburbanas	4-10
TR	Troncales Rurales	2 – 6
CS	Colectoras Suburbanas	Sin mediana
CR	Colectoras Rurales	Sin mediana

(SIECA, 2004)

Ilustración 27: Sección tipo en recta de arterias principales con mediana.



(SIECA, 2004)

6) Alineamiento vertical. El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes, y las bajadas. Tomando en cuenta experiencias e investigaciones se recomiendan las siguientes pendientes máximas y mínimas, para los diferentes tipos de carreteras de la región centroamericana.

Tabla 36: Pendientes máximas y mínimas por tipo de carretera.

Clasificación Funcional	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño (Km/h) y Pendiente Máxima (%)						Pendiente Mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR Autopistas Regionales	Plano	-	-	-	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	-	5	4	4	
	Montañoso	-	-	-	6	6	5	
TS Troncales Suburbanas	Plano	-	8	7	6	5	-	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	
	Montañoso	-	11	10	9	8	-	
TR Troncales Rurales	Plano	-	-	5	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	6	5	4	4	
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	
CS Colectoras Suburbanas	Plano	9	9	9	7	6	5	0.3 – 0.5
	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR Colectoras Rurales	Plano	-	7	7	6	5	-	0.5
	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

(ITE, Geometric Design and Operational Considerations for Trucks, 1992)

a) Diseño de curvas en columpios o cóncavas. Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.

- El segundo toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

El tercer criterio que es el que nos interesa persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio. Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno, sus resultados son muy similares a los obtenidos de la fórmula $L = KG$, Cuando $K=51$ y la velocidad de diseño es de 100 kilómetros por hora, donde K es el factor que identifica la curva y G es Diferencia algebraica de pendientes (%).

Hay que aclarar que las longitudes calculadas para efecto de drenaje son máximas hasta 100 kilómetros por hora y no mínimas, como en los demás criterio de diseño de curvas verticales. Después de 100 hasta 120 Kilómetros por hora, las longitudes son mínimas, al igual que los otros criterios.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor de 51. La AASHTO en torno al diseño del alineamiento vertical recomienda que las curvas verticales en columpio deban evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.

4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos. Como parte de los documentos para planificar, construir, mejorar, mantener y fortalecer la red vial centroamericana, se presenta el presente “Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos”, con el objetivo de construir mejores y más durables superficies de rodaduras de las carreteras, para seguridad y comodidad de los usuarios.

a. Drenajes. La presencia de agua en los pavimentos junto con un aumento de tránsito apresura la aparición de fallas en el pavimento, debido a que modifica las características de los materiales que conforman la estructura, es un aspecto que debe ser considerado en el diseño de carreteras. Y de uno de los objetivos de hecho del capítulo seis del manual para diseño de pavimentos es precisamente analizar los distintos métodos por medio de los cuales poder reducir o eliminar el agua en la estructura de un pavimento.

La filtración del agua en el pavimento se puede dar de varias formas, puede ser por medio de grietas, juntas, infiltraciones del mismo pavimento, por corrientes subterráneas de algún acuífero interrumpido, por una elevación del nivel freático o por un simple estancamiento por falta de drenaje que luego ocasiona los problemas que todos hemos visto, y que sabemos que pueden evitarse con una buena ingeniería de

impermeabilización y/o una buena conducción del agua fuera de la zona de la carretera en el menor tiempo posible.

1) Efectos del agua sobre el pavimento. Los efectos si bien son varios los podemos enmarcar tal vez en los siguientes grupos:

- Reducción de la resistencia de los materiales granulares.
- Reducción de la resistencia de los suelos de la subrasante cuando ésta se satura y permanece de esta forma durante periodo demasiado largos de tiempo.
- Succión de los suelos de apoyo de los pavimentos de concreto con las consiguientes fallas, grietas y el deterioro de hombros.
- Succión de finos de los agregados de las bases que están bajo los pavimentos flexibles, haciendo que las partículas de suelo se desplacen con los resultados de pérdida de soporte por la erosión provocada.
- Degradación de la calidad del material del pavimento por efecto de la humedad, causando desvestimiento de las partículas del mismo.
- Diferenciales por hinchamiento del suelo que pueden ocasionar sobrefuerzos por flexión no anticipada.
- Sobrefuerzos por gradiente de temperatura en mayor o menor media dependiendo del clima, siendo más crítico en climas fríos.

a) Soluciones a los problemas de humedad. Lo que se busca es evitar el ingreso del agua a la subrasante, subbase y base. Dando una inmediata evacuación de la misma si existe algún ingreso, por lo tanto los métodos son:

- Prevenir la penetración de agua dentro del pavimento.
- Proveer el drenaje necesario para remover el exceso de agua rápidamente.
- Construir pavimentos fuertes para resistir los efectos combinados de cargas y agua.

Al considerar las posibles fuentes de agua, es conveniente proteger la sección estructural de pavimento de la entrada de agua, por lo que es necesario interceptar el agua que corre superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento. De manera generalizada a lo que se la considerable atención es al hecho de interceptar el agua superficial, mientras se da una menor atención al sellado para evitar infiltraciones. Para obtener un adecuado manejo del agua en carreteras, se tienen tres tipos de sistemas de drenaje:

- Drenaje superficial.
- Subdrenajes.

- Estructuras de drenaje.

Sin embargo se debe prever cierta humedad, que la podríamos llamar humedad de diseño para la cual nuestra estructura pueda soportar los efectos. Hasta el momento se invierte más en diseñar pavimentos fuertes que en la mayoría de los casos falla si no se le provee de un rápido drenaje.

2) Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimentos. Un buen drenaje debe mantener la capacidad soporte de la subrasante y permitir en determinado momento el uso de capas de menor espesor.

Existen tiempos de drenaje que recomienda la AASHTO basadas en el tiempo que es necesario para que la capa de base elimine la humedad cuando esta tiene un grado de saturación del 50%; pero es de notar que un grado de 85% reduce el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un drenaje.

Tabla 37: Tiempos de drenaje para capas granulares

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

(AASHTO, 1993)

a) Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles (mx) y pavimentos rígidos (Cd). En la fórmula del número estructural la calidad del drenaje es expresado mediante el coeficiente de drenaje mx, que toma en consideración las capas no ligadas.

En el diseño de pavimentos rígidos se utiliza el coeficiente de drenaje Cd, el cual ajusta la ecuación de diseño que considera la resistencia de la losa, las tensiones y las condiciones de soporte.

Tabla 38: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

(AASHTO, 1993)

Tabla 39: Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos (C_d)

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

(AASHTO, 1993)

b) Selección del coeficiente de calidad para drenajes.

- Se calcula el tiempo de drenaje de cada una de las capas no ligada para pavimentos flexibles o de la subbase combinada con la subrasante para el caso de pavimentos rígidos.
- Se selecciona una calidad de drenaje en función del tiempo de drenaje calculado.
- Calcular el tiempo en que la estructura de pavimento va a estar expuesta a niveles de humedad próximos a saturarse.
- Con la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación, se selecciona el coeficiente de drenaje m_x o C_d según sea el tipo de pavimentos que se esté calculando.

c) Tiempo de drenaje. Se exponen dos métodos de cálculo, el método del tiempo para drenar y el método de caudal constante.

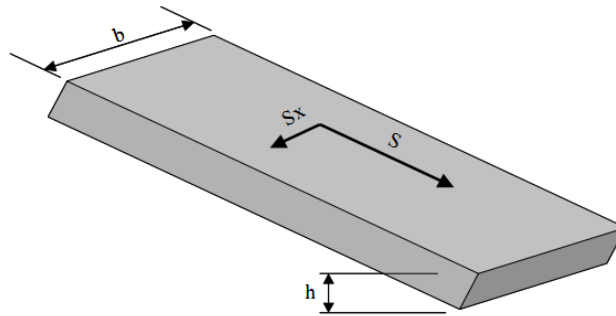
En el primer método se considera únicamente el agua que se infiltra, y se basa en la cierta permisión que se le da al agua de llegar a la base y originar un proceso de saturación el cual al completarse no permite el ingreso de agua dentro de ella ocasionando que el resto se escurre sobre la superficie. Este hecho indica que la base debe ser perfectamente permeable, ya que una vez termina de llover, el agua debe escurrirse lo más pronto posible para evitar que la saturación cambie las características mecánicas de la capa. El tiempo dependerá del posible daño que pueda ocasionar la presencia de agua en la estructura y de las condiciones climáticas.

El manual explica detalladamente el cálculo para este método que tiene como datos necesarios los siguientes:

- Pendiente longitudinal (S)
- Pendiente transversal (S_x)

- Espesor de la capa a drenar (h)
- Ancho de la base permeable (b)

Ilustración 28: Geometría de una base permeable



(Universidad Nacional de San Juan Argentina, 1994)

El método de tiempo para drenar tiene como resultado el nivel de saturación y los valores de tiempo t en horas para los cuales la capa puede de drenarse. Con estos valores se determina la calidad del drenaje. Para luego determina el coeficiente adecuado para una base para el tipo de pavimento elegido.

El segundo método, “Método del caudal constante”, se basa en la suposición de que existe un caudal uniforme de filtración y que el sistema de drenaje debe ser diseñado para drenar esa agua. Tiene como su mayor defecto la dificultad de poder determinar la cantidad de agua que entra y la que sale; una solución real, será el poder evaluar todas las fuentes de agua que se mueven dentro del pavimento.

Para este método no se plantea un procedimiento de cálculo como en el caso anterior, únicamente la siguiente ecuación:

$$q_n = q_i + q_g + q_s + q_m - q_v$$

En donde:

- q_n = Caudal total de entrada
- q_i = Caudal total de infiltración
- q_g = Caudal de entrada por efecto de la gravedad
- q_s = Caudal de entrada por flujo artesiano
- q_m = Caudal por derretimiento del hielo
- q_v = Caudal de salida por flujo vertical

C. Análisis de contenido de los manuales de SIECA

En cuanto a lo concerniente a los aspectos hidrológicos e hidráulicos dentro de los manuales de clasificados como de infraestructura, en los manuales de la SIECA. Se desarrolla el presente análisis para evidenciar la existencia de consideraciones de los aspectos antes menados para conocer el estado actual de este tema de gran importancia para una región por las condiciones hídricas que presenta. Cabe recalcar que presenta una fuerte amenaza de tormentas y que para las condiciones topográficas de la región ha presentado reiteradas veces insuficiencia en cuanto al control y adecuación de la infraestructura vial ante de crecidas para lo cual la falta de recursos no es una limitante de generación de soluciones adecuadas a las condiciones peculiares de Centroamérica.

1. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. El manual se enfoca a la prevención, mitigación, corrección y/o compensación de los impactos ambientales, entre estos los producidos por las lluvias citando normas ambientales que tiene como fin el optimizar la inversión, la operación y mantenimiento de las obras viales. Por lo mismo el presente consolidado se basa en evitar situaciones de riesgo por efectos del flujo superficial y subsuperficial. Se reconoce la importancia de una selección adecuada de la ruta basada en conceptos topográficos e hidrológicos.

El manual es asertivo al resaltar la ineludible interacción que existirá entre la infraestructura y el medio ambiente, y de cómo estos pueden verse seriamente afectados e inclusive interrumpidos al generarse un desbalance. En cuanto a lo que al tema hídrico compete, las consideraciones más relevantes acerca del mismo se observan: Consideraciones en la etapa de planificación, en la etapa de diseño y en la etapa de construcción.

Para la primera etapa, la de planificación, se comparte un interés por el análisis basado en estudios para la selección de la ruta, siendo importantes la información recabada de mapas topográficos, fotografías aéreas y visitas de campo, pero no considerarla como única fuente de información para la toma de decisiones. En las breves previsiones que se realizan son certeros al momento de transmitir un pensamiento de evitar problemas en cuanto a ubicación considerando los efectos negativos que acarrearán el no considerarlos, los cuales al ser estos recurrentes elevan el precio de la carretera en cuanto a mantenimiento y reparaciones. Los estudios de interés son los relacionados a zonas inundables y de la red de drenajes actual en la zona, esto con el objetivo de prever comportamientos y puntos de concentración de escorrentía superficial, enmarcando el tema de vulnerabilidad ante desastres naturales y la estimación de fenómenos naturales de determinadas magnitudes. Involucra una constante en la planificación en la que se debe proveer sistemas de drenaje temporales con el objetivo de evitar problemas de erosión y daños para el propio proyecto.

Para la etapa de diseño se dan recomendaciones y normas que buscan la no obstrucción de tanto de flujos de agua superficial como de agua subterránea. Teniendo presente también que esto no será posible se prevé la disposición de drenes para el caso de aguas subterráneas y desagües para la circulación del agua evitando en mejor medida la erosión.

En la etapa de construcción se habla formalmente de un manejo de las aguas por lluvias, y siempre a un nivel de recomendación se solicita la construcción de sistemas de drenajes para evitar los efectos de erosión, haciendo comentarios del incremento de la escorrentía superficial al efectuar el desmonte, del cuidado y puntos de explotación de material extraídos de los ríos y de la importancia de proteger las márgenes para evitar desbordamientos. Se recomienda la no acumulación de agua y la disposición de drenajes adecuados para la mismas, el uso de bajantes canalizadas de agua en los taludes, el uso de cunetas de corona para conducción a bajo ciertas recomendaciones de ubicación y la existencia de disipadores de energía de la corriente en pendientes fuertes.

2. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. El manual como tal cumple con su finalidad que es la de rendir especificaciones técnicas de aplicabilidad para la región. Provee de manera clara la descripción de los trabajos de drenajes, materiales, los requerimientos para construcción, procedimientos para la determinación de su calidad y aceptación. Lo anterior bajo la caracterización de especificación, la cual puede formar parte de contratos y de la oferta para el desarrollo de los trabajos de drenajes en carreteras de los siguientes temas: Alcantarillado y drenajes, Pozos de registro tomas y tragantes, subdrenajes, vertederos de metal, revestimiento de cunetas y canales, bordillo y cunetas, y drenaje horizontal con tubería perforada.

Para cada caso en la División 600 se presenta el listado de los materiales a utilizar para la construcción de alcantarillado y drenajes, listado basado en estándares reconocidos por el mismo manual. Requerimientos de construcción a cumplir que van relacionados con la colocación dependiendo del material utilizado. Estándares de aceptación según subsecciones evaluativas del mismo manual referidas a estándares americanos.

Para la División 700, es una guía al para la calificación de tubería y de geotextiles para subdrenajes para el conocimiento de las alternativas estudiadas con las que se puede llevar a la construcción de una manera más calificada en cuanto a requerimientos para tener una mejor duración de los elementos.

3. Manual centroamericano para el diseño geométrico de las carreteras regionales. El manual fue diseñado para asegurar una coherencia y uniformidad funcional de las carreteras a través del diseño geométrico, esto surge a raíz de considerar las carreteras centroamericanas como una red para el desarrollo. Este se divide en siete capítulos en materia de diseño: Criterios determinantes para el diseño de las carreteras, Clasificación de la red de carreteras regionales, Componentes principales del diseño

geométrico, Las intersecciones a nivel de las carreteras, Intercambios y cruces a desnivel, El diseño de las autopistas regionales, Elementos básicos de diseño para el mejoramiento de las carreteras. Para los cuales se exponen reglamentos, recomendaciones, mínimos y máximos de propiedades a considerar, entre otros factores concernientes a la geometría. Aunque por el momento se consideran como elementos básicos para el diseño geométrico a los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación; sin descartar los aspectos hidrológicos e hidráulicos, aun no son considerados como un criterio determinante para el diseño.

El tema hídrico se ve diseminado a lo largo del texto a través de comentarios aislados, y no es hasta en el capítulo cuatro de “Componentes principales del diseño geométrico” en el que se le presta una mayor atención. Los detalles de diseño afectados por el tema de aguas son: La pendiente transversal de los carriles, hombros o espaldones, bordillos y cunetas, drenaje superficial, medianas o franjas separadoras y alineamiento vertical. Las anotaciones en torno a los elementos antes mencionado son del tipo recomendaciones, fijando parámetros máximos o mínimos más en relación a pendientes de superficies y dimensiones recomendables para anchos y alturas. Descripción y dimensionamiento regular de elementos como bordillos, cunetas tradicionales de forma tradicional y medianas centrales en sus tres tipos. Y de forma más explícita se presenta una ecuación para el cálculo de una curva cóncava para el alineamiento vertical en el que basada en el requerimiento de drenaje, aunque solo se utiliza como un parámetro de estado, debido a que el criterio que rige su diseño es el que se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.

4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos. El presente manual se redacta con objetivo de obtener pavimentos con características y resistencias semejantes en la red de carreteras Centroamericanas, en las que pueda cualquier vehículo pesado ser resistido y a la vez brindar la comodidad adecuada para todo tipo de vehículo por un tiempo más extenso de tiempo antes de presentar las primeras fallas. Presenta en total nueve capítulos relacionados al diseño de pavimentos: Condiciones actuales de los pavimentos de Centroamérica, Consideraciones para el diseño, Análisis de tránsito, Evaluación de subrasantes, Elementos de la estructura de pavimento, Drenajes, Diseño de espesores, Rehabilitación de pavimentos existentes, Descripción de procedimientos analíticos, empíricos y mecanicistas, para diseño y evaluación de estructuras de pavimentos.

El manual aborda el tema en el apartado de “Drenajes”, y muestra la problemática del agua presente en carreteras como un modificador de características mecánicas que apresura la aparición de fallas en el pavimento. Para fomentar una mayor conciencia del problema del mal manejo del agua que entra en contacto con la carretera, muestra los efectos nocivos agrupándolos en varios grupos dependiendo de la característica que se vea afectada, para luego describir las soluciones a grandes rasgos que se pueden emplear.

Aquí se incluye el concepto y la metodología para la determinación de la *calidad de drenaje* que se expresa mediante un coeficiente, que es considerado en el número estructural, dicho coeficiente nos define la capacidad de los materiales de la subrasante para evacuar el agua después de una lluvia sin que esta modifique sus características mecánicas resistivas. Este coeficiente nos determinará tres aspectos importantes en el diseño de carreteras: Capacidad y espesores de las capas del pavimento y el drenaje en general.

D. Propuesta de temas complementarios de hidrología e hidráulica

1. Hidrología. El presente apartado se encarga de temas relacionados a las metodologías para la estimación de caudales de diseño para los elementos que formaran parte del sistema de drenaje de una carretera.

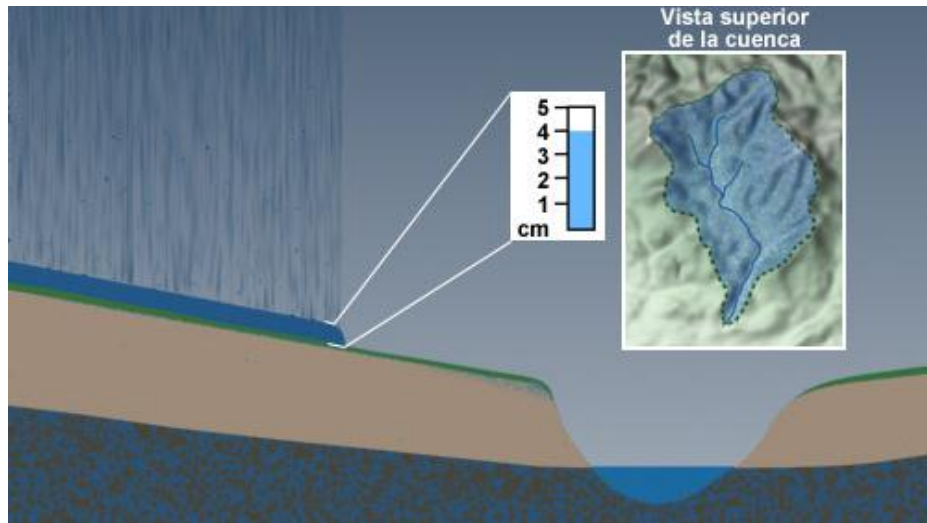
Toda metodología de estimación de caudales parte del análisis de información hidrológica y meteorológica disponible en el punto de ubicación de la obra, la cual debe elegirse según criterios de diseño y limitaciones con el fin de seleccionar la más adecuada para la zona del proyecto. La fuente principal de dicha información será Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Hidrología y Meteorología (INSIVUHME), que cuenta con un sistema nacional de estaciones hidrométricas con registros suficientes para lograr buenas estimaciones. Para los casos en que no se cuente con la información necesaria se puede recurrir a recabar información de otras entidades que en algún momento hayan realizado estudios hídricos del lugar, o a la interpolación de datos de estaciones hidrométricas más cercanas.

Existen también los fenómenos de crecidas máximas que poseen una probabilidad de ocurrencia relacionadas a cierta magnitud las cuales responden a registros y estudios de crecidas máximas anuales. Estas originan en la mayoría de los casos desbordes de ríos, desborde de zonas anegadas, etc. Los métodos presentados en el presente apartado tratarán exclusivamente la determinación de caudales provenientes de precipitaciones pluviales lo cual no significa que deberá obviarse la estimación de inundaciones; si la obra de drenaje se encuentra bajo un riesgo considerable el proyectista deberá de preverlos en el diseño y como mínimo tomar las medidas pertinentes para la mitigación de daños.

a. Factores hidrológicos que inciden en el diseño hidráulico de las obras de drenaje. Un buen diseño es aquel que considera las variables que lo afectaran a lo largo de la vida útil de la obra. Entre los factores principales a considerar están los hidrológicos. El tamaño de la cuenca es el de mayor importancia ya que representa el área de captación del agua de lluvia la cual presenta una relación directamente proporcional con el caudal de escorrentía superficial, aquí el caudal aportado estará en función de las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento. Al final el caudal de diseño es producto de la interacción de estos factores también útiles para la ubicación preliminar o definitiva de la obra.

Se deberá considerar la presencia de aguas subterráneas, naturaleza y condiciones de las rocas permeables, los suelos y su homogeneidad, estratificación, conductividad hidráulica, compresibilidad. Esto se debe a que parte del caudal superficial puede tener un origen superficial o subterráneo por lo que es de importancia considerar el potencial de aporte al caudal con el cual vamos a diseñar nuestros drenajes.

Ilustración 29: Precipitación media en la cuenca



(COMET program, 2011)

b. Estudio de campo y evaluación de información hidrológica. El estudio de campo debe estar guiado para identificar, obtener y evaluar información relacionada con el estado actual de las condiciones de drenaje en la zona, corrientes intermitentes y/o permanentes, condiciones hidrológicas y topográficas. Se busca reconocer el lugar e identificar ciertos puntos de riesgo para la estructura vial como puede ser deslizamientos, áreas inundables, asentamientos, entre otros problemas que pueden ser generados por las lluvias.

Una buena práctica es conocer la instrumentación y los métodos utilizados por operarios para la generación de registros hidrológicos. Corroborar que la caracterización de las cuencas y/o microcuencas que formaran parte del complejo de interacción sea en efecto similar a las que provee la fuente de información que se haya seleccionado.

Considerando las limitaciones que se tienen en el sistema de monitoreo que puede en algún caso no tener presencia en la zona correspondiente a la del proyecto, se deberá utilizar el método más adecuado para obtener estimaciones el cual debe ser verificable con observaciones directas realizadas en el punto de interés. Es importante contar con un registro alrededor de los últimos 25 años para realizar análisis más robustos que permitan predecir eventos futuros con mayor confiabilidad. El resultado final es la obtención de datos representativos, de calidad, extensión y consistencia para la realización del diseño.

c. Estudio de cuencas hidrográficas. La finalidad del estudio es caracterizar las cuencas y/o microcuencas que tendrán implicaciones en el establecimiento de la carretera. Parte de ello es el análisis de las características físicas y el concepto vinculado a estas, ya que de forma directa nos afectarán la magnitud del caudal de diseño en el punto de interés. Estas características las podemos clasificar en dos grupos, las que controlan el volumen de escurrimiento: el área y tipo de suelo; y las que condicionan la velocidad de respuesta como el caso del tiempo de concentración. Las cuales dependerán de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), cobertura vegetal, geología, uso de la tierra, entre otras.

Para estimar las características fisiográficas se requiere el uso de planos en escalas adecuadas según el área que se esté analizando se recomienda las siguientes:

Tabla 40: Escalas recomendadas para interpretación de planos.

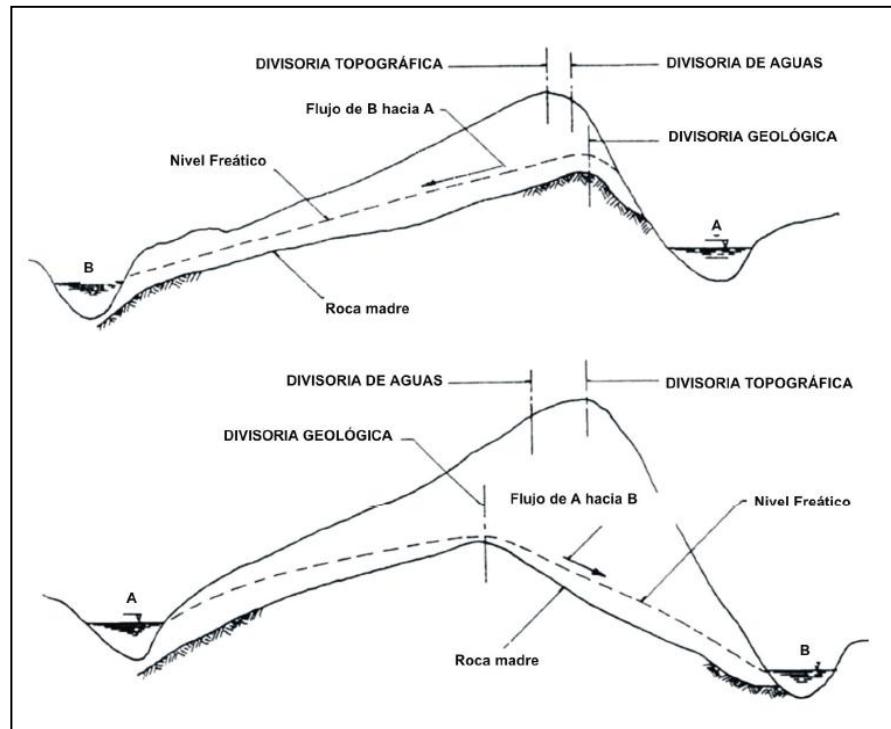
Área de estudio (Km ²)	Escala
1	1 : 5 000
100	1 : 10 000
1000	1 : 25 000
5000	1 : 50 000

(Administradora Boliviana de Carreteras, 2007)

Para estos estudios se recomienda la utilización de información geográfica que maneja el IGN y de no contarse escalas de mayor detalle como las recomendadas en la tabla anterior las escalas 1:100,000, 1:50,000 y 1:25,000 nos proporcionan muy buenos resultados cuando se manejan con criterios adquiridos por información de campo.

1) Definición del área de cuenca. Una de las tareas más importantes en el estudio de la cuenca, es la delimitación de su área debido a que el caudal de diseño va a depender principalmente de este valor. El área de la cuenca para el estudio de carreteras lo definiremos como el área vista en planta delimitada por la línea divisoria de aguas, el extremo paralelo al eje de la carretera en estudio y el lugar exacto de la obra de drenaje. La cuenca de interés es la zona territorial natural o artificial de captación de agua de lluvia que vierte hacia una salida a interactuar con proyecto delimitada por los puntos topográficos más distantes que al recibir precipitación vierten hacia el mismo punto de salida. Dicho borde es conocido como línea lindante o divisoria con las cuencas adyacentes. Para el trazo de la línea lindante se recomienda localizar en primer lugar los puntos más altos y posteriormente dibujar el contorno conservando el concepto de que la escorrentía es siempre perpendicular a las curvas de nivel. Existen dos tipos de línea lindante, la superficial y subterránea, que pueden en algunos casos no coincidir. Por lo tanto la delimitación la definiremos en base al sentido del flujo en la misma dirección y la nombraremos como divisoria de aguas.

Ilustración 30: Delimitación de cuenca topográfica o superficial y cuenca geológica o de aguas subterráneas.



(Administradora Boliviana de Carreteras, 2007)

2) Tiempo de concentración (T_c). Esta propiedad viene de la combinación de otras variables, como la longitud máxima que ha de recorrer el agua de lluvia hasta la salida de la cuenca y de velocidad promedio que puede adquirir en su trayecto, la cual a su vez dependerá de factores como el tamaño de la pendiente y la rugosidad de la superficie. El tiempo de concentración (T_c) lo podemos definir de la forma como sigue:

El tiempo para el cual toda la cuenca empieza a contribuir; este es el tiempo de flujo desde el punto más lejano hasta la salida de la cuenca. (Ven Te Chow, 1994)

El tiempo medido en minutos u horas, que la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de la cuenca toma para llegar a una sección determinada de dicha corriente. Mide el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada. (Monsalve, 1995)

Para el cálculo del T_c existen varias metodologías que nos pueden proveer resultados bastante dispersos. Pese a ello se cuenta con existen lo que son fórmulas empíricas con mejor ajuste a datos experimentales, teniendo el cuidado de seleccionar la que mejor se apegue a las condiciones de la cuenca en estudio. En general con base a la experiencia, el tiempo de concentración no debe ser menor a 10 min, a

no ser que valores menores se justifiquen por las mediciones del terreno. A continuación se muestra una recopilación de varios autores para el cálculo de T_c :

Tabla 41: Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones con pendientes.

<i>Autor</i>	<i>Ecuación t_c</i>	<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>	<i>Observaciones</i>
Kirpich	$t_c = 0,0078 k^{0,77}$ $k = 3,28 \cdot \frac{L}{S^{1/2}}$	L m	Longitud del cauce principal	Cuencas pequeñas
		<i>Min</i>		
Normas españolas	$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	S $\frac{m}{m}$	pendiente del cauce principal	
		L km	Longitud de cauce principal	
Giandotti	$t_c = \frac{4A^{1/2} + 1,5L}{0,8^{1/2}}$	H km	Altura media descontando la cota de origen de la cuenca (punto de salida)	Áreas menores a $10 km^2$
		<i>Hrs</i> A km^2	Area de la cuenca	
		L $\frac{m}{m}$	Longitud máxima de la cuenca	
SCS	$t_c = \frac{0.0287 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{1,67}}{S^{1/2}}$	L m	Longitud del cauce principal	$L = 1,27 A^{0,6} \quad ki$
		<i>Min</i> S $\%$	pendiente media de la cuenca	
		CN	Número de curva del SCS	
California Highway & Public work	$t_c = 0,95 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	L km	Longitud del cauce principal	
		<i>Hrs</i>		
		H m	Desnivel máximo de cuenca	

(Administración Boliviana de Carreteras, 2007)

Tabla 42: Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones llanas.

<i>Autor</i>	<i>Expresión</i>	<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>
Federal Aviation Agency (1970)	$\frac{123,72 \cdot (1.1 - C_e) \cdot L^{0.5}}{(100S)^{0.33}}$	$S \quad m/m$ C_E $L \quad km$	Pendiente del cauce principal Coeficiente de escurrimiento Longitud de escurrimiento superficial
Izzard (1946)	$\frac{592.28 \cdot (0.0000276i + C) L_s^{0.33}}{i^{0.667} S^{0.333}} (1)$	$L_s \quad m$ $S \quad m/m$ $i \quad mm/hr$ C_E	Longitud de escurrimiento superficial Pendiente de media de la causa Intensidad media de lluvia Coeficiente de retardo
Morgaly Y Linsley (1965)	$\frac{7L_s^{0.6} \cdot \eta^{0.6}}{i^{0.4} \cdot S^{0.3}} (1)$	$L_s \quad m$ $S \quad m/m$ η $i \quad mm/hr$	Longitud de escurrimiento superficial Pendiente de media de la causa Rugosidad (Manning) Intensidad media de lluvia

(1) Para estos casos se debe resolver el sistema de ecuaciones para “ T_c ” e “ i ” con “ i ” a partir de las curvas IDF del lugar, y en donde la frecuencia “ T ” sea un dato del problema.

(Administración Boliviana de Carreteras, 2007)

El concepto de tiempo de concentración lo podemos aplicar para un sistema de drenaje pluvial. En el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenajes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, se describe:

$$T_c = t_o + t_f$$

Dónde:

t_o = tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

$t_f = \sum \frac{L_i}{V_i}$, tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés.

d. Análisis estadísticos de datos hidrológicos. El análisis se fundamenta a su vez de la medición de la precipitación, parte importante de cualquier estudio hidrológico. Para ello se utiliza instrumentación como el pluviómetro que nos puede proporcionar el volumen de agua de lluvia en términos de una lámina de agua de espesor constante dada normalmente en (mm) caída en un período de tiempo sobre una superficie conocida. Otros instrumentos como el pluviógrafo que nos provee la variación continua de la cantidad de lluvia acumulada en función del tiempo por medio de una gráfica, que a su vez necesita transformarse a una curva masa y al ser dividida en intervalos iguales de tiempo obtenemos un

histograma o hietograma que se analizado más adelante. Por el momento debemos tener presente que la información que utilizaremos para nuestro diseño comienza aquí, en las mediciones meteorológicas.

Existe un ente gubernamental comprometido para proveer a toda organización del estado o privada, la información de las estaciones meteorológicas de observación desde el inicio de la recolección de datos. En Guatemala la red de medición meteorológica del estado y dicho sea de paso, la más grande, es administrada por el INSIVHUME.

La razón de ser de los métodos probabilísticos a partir de registros de precipitación se debe a que en la mayoría de casos no se contara con una sección de control monitoreada de los datos de escurrimiento para el punto de ubicación de la obra que se esté diseñando. Esto se debe a que lógicamente las estaciones que miden el escurrimiento están situadas en cursos de agua mayores, sin embargo descubriremos que los cursos pequeños de agua son los que conforman la mayor problemática del drenaje vial.

La predicción de eventos futuros a partir de información histórica se basa en una rama de la estadística conocida como *probabilidad* utilizando el análisis de frecuencia. En este análisis lo que se busca es relacionar cada evento (en este caso una lluvia de cierta magnitud), una probabilidad de ocurrencia.

La serie anual que es la precipitación máxima diaria observada en cada uno de los años de registro, constituye el punto de partida para la realización del análisis de frecuencia. Se recomienda contar un registro no menor a 20 años y la revisión correspondiente de los datos en relación a aspectos como inconsistencia de la información, ausencia de datos y extensión del registro.

1) Estadística hidrológica. Como se ha mencionado con anterioridad para garantizar que una representación estadística describirá las condiciones pluviales del lugar de la obra, la información deberá con anterioridad ser revisada, analizada y procesada con el objetivo de detectar errores, omisiones en su medición, homogeneidad de la información; para dar mayor validez estadística a los análisis a que dicha información sea sometida.

De contarse con estaciones vecinas para la misma cuenca observada, deberá compararse con los datos que estas proveen para verificar su consistencia y detectar errores crasos o groseros, producto de omisiones de medición o errores de transcripción. La omisión o el error pueden llegar a invalidar datos puntuales e incluso la serie completa, y para aprovechar el resto de la información se recurre al relleno de datos mediante un procedimiento confiable.

Es evidente que el manejo de datos de precipitación debe de pasar por una serie de filtros o tratamientos para verificar, rellenar, corregir o incluso para ampliar la información.

a) Relleno de datos faltantes o erróneos. Este procedimiento se lleva a cabo para no perder el resto de la información con la que contamos, que es verdaderamente valiosa. Ya sea que falten datos o que hayan descartado por un proceso de verificación es posible recuperar la continuidad de la serie de datos sean diarios, mensuales o de años completos.

Si consideramos cercanas las por lo menos tres estaciones vecinas podemos utilizar los valores correspondientes a los faltantes en nuestros datos de precipitación. Encontraremos la pendiente de los datos pluviométricos para el intervalo de interés en las series de las estaciones vecinas y si estas difieren entre sí en menos de un 10%, la información faltante la estimaremos de la siguiente forma:

$$P_x = \frac{(P_a + P_b + P_c)}{3}$$

En caso de que difieran en más de un 10%, se utilizara un promedio ponderado según la pendiente de cada estación.

$$\frac{P_x}{m_x} = \frac{\left(\frac{P_a}{m_a} + \frac{P_b}{m_b} + \frac{P_c}{m_c}\right)}{3}$$

Donde:

P_x = dato faltante

P_i = precipitación en estación vecina

m_i = pendiente pluviométrica de la estación

Si la importancia del estudio lo amerita, métodos más sofisticados como correlaciones estadísticas entre las estaciones.

b) Homogeneidad. La homogeneidad se refiere a la ausencia de cambios producto de factores ajenos a las variaciones en la precipitación propiamente, como por ejemplo los cambios que pudieran afectar la homogeneidad están: cambio de instrumento en sí, de ubicación o de operador. La pregunta aquí es como saber que una variación es real o introducida por el medio de medición.

Para el esclarecimiento de esta interrogante se cuenta con una metodología basada en la hipótesis de que si una zona es pluviométricamente homogénea, la precipitación en un punto dado, debe ser estadísticamente proporcional al promedio de las estaciones vecinas. Conocido como el *método de las curvas dobles acumuladas*, consiste en graficar la precipitación anual acumulada de la estación de análisis, versus el valor acumulado una precipitación patrón constituida por un promedio de las estaciones vecinas, a continuación se describen las ecuaciones:

$$P_x = \alpha \cdot P_p + \epsilon$$

Donde ϵ , es un error o simple dispersión. La ecuación acumulada en el tiempo nos quedaría:

$$\sum P_x = \sum (\alpha \cdot P_p + \epsilon) = \alpha \sum P_p$$

Esto se debe a que la suma o promedio de los errores o dispersiones debería ser despreciable, si no nula.

La interpretación de la gráfica es la siguiente: a) Si la gráfica es una recta de pendiente α , que pasa por el origen, los datos son homogéneos. b) Si existen dos o más tramos de pendiente distintas significa que es heterogénea y que en esos tramos hubo cambios en las condiciones de medición.

Para homogeneizar los datos se deberán llevar los datos a una recta de pendiente única investigando la posible causa que pudo ocasionar el cambio. Para ello utilizaremos la siguiente relación:

$$P_c = P_m \frac{\alpha_i}{\alpha_1}$$

Donde:

P_m = precipitación medida

P_c = precipitación corregida

α_i = pendiente del periodo a corregir

α_1 = período de homogeneización, normalmente el periodo más reciente

Este procedimiento es iterativo, se parte de que contenga las estaciones disponibles y se van eliminando de él las estaciones que no resulten homogéneas. No se recomienda hacer ajustes cuando los cambios de pendientes no son muy notorios. En algunos casos contaremos con una certeza de heterogeneidad al observar corrimientos bruscos en la curva de precipitación anual acumulada y que luego mantienen la misma pendiente casi siempre vendrán a ser producto de un error grueso, lo cual deberá corregirse para devolverle la validez a nuestra información.

c) Ampliación de estadística. Un caso particular de relleno de datos, es aquel en donde se requieren datos que están fuera de la longitud de la serie de datos, en la cual es posible estimarlos de acuerdo a la información de estaciones vecinas. Este procedimiento puede ser útil para realizar proyecciones de precipitaciones, que pueden extenderse dependiendo de la correlación que exista entre los valores medidos de la estación a completar y los datos de un patrón que es el promedio de las estaciones vecinas. La extensión se hace con base a la curva doble acumulada o análisis de dobles masas para datos

homogéneos. Esta estimación genera estadísticas cuya desviación estándar es parecida a la del promedio y por lo tanto inferior a las estaciones individuales.

$$P_x = \alpha \cdot P_p$$

Teniendo en cuenta lo anterior para precipitaciones anuales y escalas de tiempo cortas se puede recurrir a correlaciones estadísticas, lineales, simples o múltiples con estaciones vecinas. Se deberá elegir la que presente mejor correlación. La correlación es un valor comprendido entre “R=0”, que significa que no hay correlación, y “R=1” que es una correlación perfecta. Se consideran admisibles coeficientes de correlación superiores a R=0.7, asegurando su representatividad.

d) Precipitación media en una cuenca. Para posteriores cuantificaciones resulta necesario conocer este parámetro de medición que viene dado por el método que se haya seleccionado para la serie de datos de precipitación en una red de estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca de interés. Los métodos y sus características se presentan a continuación.

i) Método aritmético. Provee una buena estimación cuando con una distribución uniforme de las estaciones, para cuencas con área bastante plana y las variaciones entre las medidas pluviométricas son mínimas.

$$\bar{P} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

n : número de aparatos pluviométricos

P :precipitación registrada en el aparato pluviométrico i.

ii) Método de polígonos de Thiessen. Adecuado para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas, logrando resultados más realistas para áreas de cuencas más planas. El método se basa en asignarle un peso a los totales de precipitación en cada aparato, proporcional al área de influencia, no considera las condiciones orográficas del lugar.

Las áreas de influencia se determinan en mapas de la cuenca con la ubicación de las estaciones. Se unen los puntos de ubicación por líneas rectas, para luego trazar las mediatrices de estas, formando polígonos. Los lados de los polígonos son las áreas de influencia de cada estación. A pesar de que no es el más preciso presenta la ventaja de tener una definición espacial constante ya que depende la ubicación de las estaciones.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

n : número de aparatos pluviométricos

P_i : precipitación registrada en aparato pluviométrico i.

A_i : área de influencia del aparato pluviométrico i.

iii) Método de Isoyetas. Se basa en la realización de curvas de igual precipitación, de aquí proviene el nombre del método. Para obtener resultados más precisos se deberá considerar los efectos orográficos al momento de realizar las curvas. Se considera que es el método más preciso aunque presenta la desventaja de ser dinámico debido a que las precipitaciones pueden ir variando y de presentar una componente subjetiva por parte de la persona que realiza el trazo.

$$\bar{P} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \cdot A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}} \right]$$

Dónde:

n : número de curvas de igual precipitación

P_i : precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación i.

P_{i+1} : precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación i + 1.

A_{i,i+1} : área entre las curvas de igual precipitación i e i+1.

2) Análisis de frecuencia. El análisis de frecuencias es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. De este modo la representación gráfica de la probabilidad con o sin suposiciones de distribuciones de probabilidad, es un método de análisis de frecuencias.

El análisis de frecuencias de datos requiere que los datos sean homogéneos e independientes. La homogeneidad se refiere a que todas las observaciones provengan de la misma población es decir, que hayan sido tomadas bajo las mismas condiciones. La independencia va más relacionada a que un evento hidrológico, tal como una gran tormenta aislada, no entre al conjunto de datos más de una vez. Por ejemplo, un sistema de tormenta aislado puede producir dos o más grandes picos de escorrentía y solo uno de ellos (el más grande) deberá entrar al conjunto de datos. Además para predecir caudales futuros se deberá tener

certeza de que por ejemplo no habrá nuevas estructuras hidráulicas, desviaciones, cambios en el uso de la tierra, etc, y si no tomarlas en consideración al momento de hacer las estimaciones.

Los análisis de frecuencias hidrológicas pueden ser llevados a cabo haciendo o sin hacer suposición alguna de distribución de probabilidad. El procedimiento que debe ser seguido en cualquier caso es casi el mismo. Si no se hacen suposiciones de distribuciones probabilísticas, el investigador tan solo grafica los datos observados sobre cualquier clase de papel y usa su mejor criterio para determinar la magnitud de eventos pasados o futuros para varios periodos de retorno, haciendo la salvedad que estas estimaciones tendrán que ser hechas por un experto en el área debido a su amplia experiencia.

Si se hacen suposiciones de distribuciones probabilísticas (que es en la mayoría de los casos), la magnitud de los eventos para varios periodos de retorno se selecciona de la línea de “mejor ajuste”, de acuerdo con la distribución supuesta. Si se utiliza una técnica analítica, se recomienda que los datos sean también graficados, de tal manera que se pueda obtener una idea de que tan bien los datos ajustan la forma analítica supuesta, y para caer en cuenta de problemas potenciales.

Existe una variedad de distribuciones de frecuencias a las cuales pueden ser aproximadas mi distribución de valores leídos. El fin de las distribuciones es la predicción de fenómenos hidrológicos y a su vez de caudales que entraran en interacción con la estructura de drenaje que se esté diseñando. Independientemente de la distribución a la que mejor se ajuste Chow (1951:120) ha demostrado que muchos análisis de frecuencias pueden ser reducidos a la forma:

$$X_T = \bar{X} \cdot (1 + C_v \cdot K_T)$$

Donde X_T es la magnitud del evento que tiene un periodo de retorno T y K_T es un factor de frecuencia. Esta relación se obtiene si definimos cualquier valor de X como

$$X = \bar{X} + \Delta X$$

Donde ΔX se define como la desviación alrededor de la media y es el resultado de multiplicar la desviación estándar S y un factor de frecuencia K .

$$X = \bar{X} + S \cdot K$$

Aquí definimos lo que se conoce como coeficiente de variación C_v , que es un parámetro de dispersión o fluctuación de diversas observaciones alrededor del valor central, grupo al también aparecen la desviación estándar, varianza y el rango (diferencia entre los valores mayor y menor de la serie). El coeficiente de variación se define como:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

Si despejamos para S y sustituimos en la ecuación anterior tendremos la forma reducida de análisis de distribuciones de frecuencias.

$$X_T = \bar{X}(1 + C_v K_T)$$

Chow (1951:120) presenta los factores de frecuencia para diferentes tipos de distribución de frecuencias. Algunas de las distribuciones aplicables a datos hidrológicos que pueden ser reducidas son la Distribución Normal, Distribución Logaritmo-Normal o Log-Normal, Distribución Pearson Tipo III, Distribución de Log-Pearson Tipo III, Distribución Gumbel o distribución de valores extremos tipo I.

a) Distribución normal. Es fácilmente demostrable para este tipo de distribución que K_T es la variable reducida z . El valor de la variable reducida z relacionada con las áreas acumuladas de la curva que representa la distribución normal estándar, puede ser utilizada con la ecuación reducida para determinar la magnitud de eventos distribuidos normalmente, correspondientes a varias probabilidades. Las áreas debajo de la curva normal estándar pueden encontrarse en textos como en Hidrología en la Ingeniería de Monsalve, cuadro 3.5.

b) Distribución logaritmo-normal o log-normal. Para este tipo de distribución los factores de frecuencia K_T están dados en función del coeficiente de asimetría u oblicuidad C_s de los datos originales y del periodo de retorno (probabilidad de excedencia).

El método se aplica de la forma siguiente:

- i) Calcular la media \bar{X} de los n valores de la serie.
- ii) Calcular la desviación estándar S de los n valores de la serie.
- iii) Calcular el Coeficiente de oblicuidad o asimetría C_s de los n valores de la serie.

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

- iv) Calcule

$$X = \bar{X} + S \cdot K$$

En donde K_T es el factor de frecuencia obtenidos de tabla para la distribución log-normal.

c) Distribución Pearson Tipo III. Para obtener la distribución en su forma reducida, el método es como sigue:

- i) Calcular la media \bar{X} de los n valores máximos anuales hidrológicos x_i .
- ii) Calcular la desviación estándar S de los n valores máximos anuales hidrológicos x_i .
- iii) Calcular el Coeficiente de oblicuidad o asimetría C_s de los n valores máximos anuales hidrológicos x_i .

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

- iv) Calcular

$$X = \bar{X} + S.K_T$$

En donde K_T se obtiene del siguiente de cuadros, con C_s y el período de retorno conocidos.

d) Distribución de log-Pearson Tipo III. Es un método de análisis de frecuencias basado en la distribución log-Pearson tipo III, que se obtiene cuando se usan los logaritmos de los datos observados junto con la distribución Pearson tipo III. Este método se puede aplicar de la forma siguiente:

- i) Transformar las n magnitudes de los valores máximos anuales hidrológicos x_i a sus valores logarítmicos y_i .

$$y_i = \log x_i \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

- ii) Calcular la medida de los logaritmos, \bar{Y}

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

- iii) Calcular la desviación estándar de los logaritmos, S_y

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{(n-1)}}$$

- iv) Calcular el coeficiente de oblicuidad de los logaritmos, C_s

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3}{(n-1)(n-2)S_y^3}$$

- v) Calcular

$$Y_T = \bar{Y} + S_y K_T$$

En donde K_T se obtiene de tablas para una distribución Log-Pearson tipo III, conociendo C_s y el periodo de retorno conocidos.

- vi) Calcular

$$X_T = \text{Antilog } Y_T$$

e) Distribución Gumbel o distribución de valores extremos tipo I. Se presenta una relación del factor de frecuencia para distribución de máximos valores extremos tipo I para una muestra de tamaño infinito.

$$K_T = -0.7797 \left[0.5772 + \ln \left[\frac{\ln T_x(x)}{T_x(x) - 1} \right] \right]$$

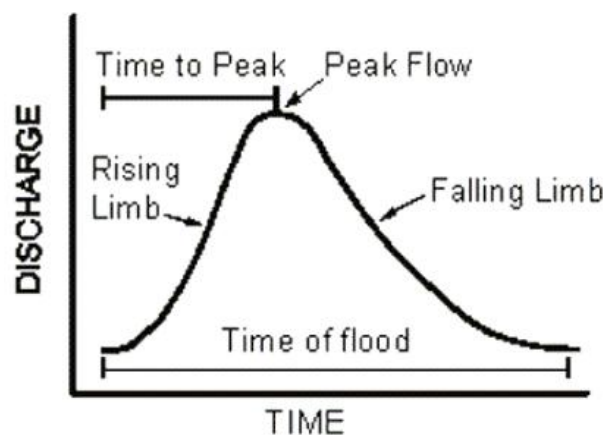
En donde $T_x(x)$ es el período de retorno deseado de la cantidad que está siendo calculada. Kendall (1959) presento los factores de frecuencia presentados en tablas para la distribución de valores extremos tipo I.

e. El caudal de diseño. El análisis hidrológico es un componente importante en el diseño cuyo nivel de detalle depende de los datos disponibles y lo sofisticado de la técnica de análisis no descartando el juicio de ingeniería debido a la complejidad y a la naturaleza aleatoria del proceso de escurrimiento.

El resultado al que se quiere llegar es la obtención de flujo máximo y el hidrograma que es un gráfico de las variaciones del flujo con el tiempo (ver ilustración 31.).

El diseño de drenajes para instalaciones de servicio en la mayoría de casos y especialmente para áreas pequeñas se basa en el flujo máximo. Por ejemplo, el diseño de las instalaciones de drenaje promedio, un colector de aguas pluviales y las entradas para proteger un talud de relleno, o una alcantarilla de drenaje de una pequeña zona aislada por carretera de relleno, pueden ser diseñados en base a las condiciones de flujo máximo solamente.

Ilustración 31: Hidrograma del flujo



(Hydraulic Design Series Number 4 FHWA, 2001)

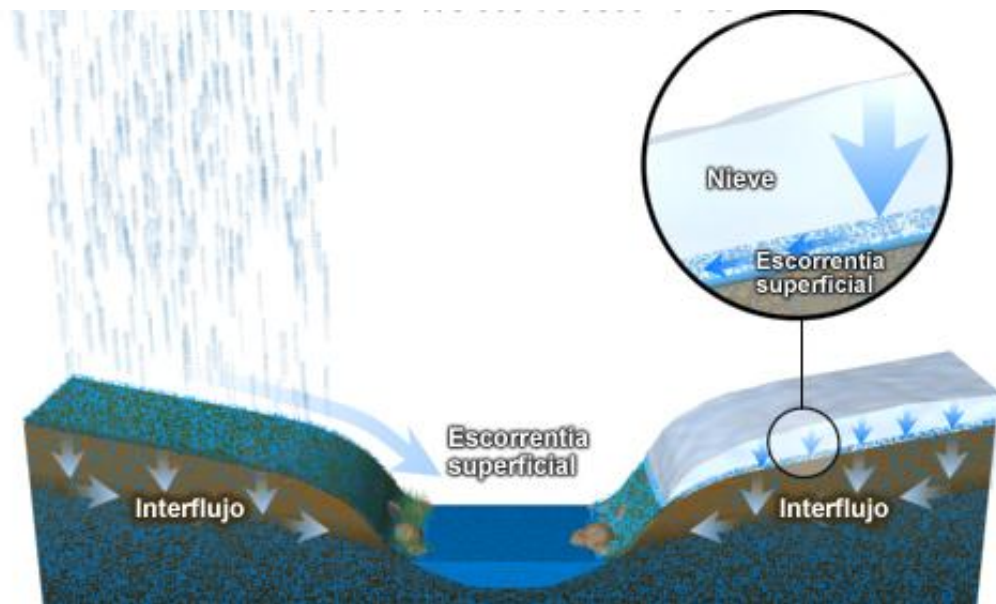
Los métodos para hacer estimaciones de flujos máximos los podemos separar en dos categorías:

- Con medidas en una sección de control.
- Con medidas de precipitación obtenidas de pluviómetros o pluviógrafos.

El caudal para el que vamos a diseñar tiene su origen en un proceso denominado *escorrentía superficial* que es la precipitación que produce escurrimiento en la cuenca y que deberá ser drenada para que no dañe el pavimento. De la precipitación total que caerá en la cuenca o área de captación de interés para el diseño de drenajes, una pequeña parte se evapora a medida que cae y otra parte es interceptada por la vegetación. De la precipitación que llega al suelo, una parte se infiltra en el suelo, una parte llena las depresiones en la superficie del suelo, y el resto corre por la superficie (escorrentía superficial) para llegar a los cursos de agua definidos.

La escorrentía superficial es a veces aumentada por el flujo subterráneo que fluye justo debajo de la superficie de la tierra y llega al curso de agua. La parte de la precipitación que se infiltra en el suelo repone su humedad y se almacena como agua subterránea.

Ilustración 32: Escorrentía proceso básico



(COMET program. 2011)

La escorrentía superficial que debe ser transportada por las instalaciones de drenaje de carreteras es entonces el residuo de la precipitación después de las pérdidas (las extracciones para la interceptación, infiltración y almacenamiento en depresiones). La tasa de pérdida de agua depende de la cantidad de la precipitación e intensidad, la temperatura y las características de la superficie terrestre. La tasa

de escorrentía varía entonces dependiendo de la permeabilidad de la superficie de la tierra, cubierta vegetal, condiciones previas como la humedad del suelo, etc. Y describirá un comportamiento característico posible de describir en función del tiempo.

1) Determinación del período de retorno y tormenta de diseño. El periodo de retorno de un evento con una magnitud dada se define como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Para fijar el periodo de retorno que se utilizara en el diseño de la obra se puede utilizar el criterio de riesgo. Este se basa en el riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegara a fallar dentro de su tiempo de vida útil, esto implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra.

El riesgo de falla admisible (R), se define en función del periodo de retorno (T) y la vida útil (n) de la obra como sigue:

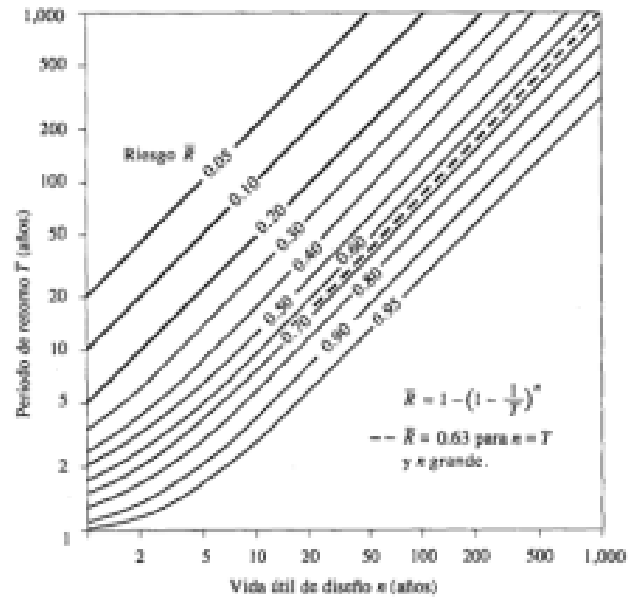
$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

La razón de aceptar cierto riesgo durante la vida operativa, se debe a que proveer una protección total implicaría la construcción de obras de drenaje de desproporcionadas magnitudes, tanto físicas como económicas. La elección del riesgo depende fundamentalmente de dos factores: a) La importancia de la vía que va a protegerse (tipo de vía), pues de ella depende que se causen mayores o menores daños; b) La función que desempeña la obra, pues está claro que la integridad de la vía debe garantizarse en grado mayor que el libre tránsito de vehículos.

Si se fija el riesgo de falla, la ecuación anterior nos permite determinar el periodo de retorno en función del tiempo de vida útil de la obra. Ven Te Chow en su Hidrología Aplicada (1994), presenta una gráfica que relación las tres variables con valores para el periodo de retorno y el tiempo de vida útil de hasta 1,000 años.

Una vez definamos nuestro periodo de retorno deberemos determinar la tormenta correspondiente y el caudal para el cual vamos a realizar nuestro diseño. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un histograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Ilustración 33: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.



(Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, *et al.*, 1994)

Tabla 43: Período de retorno (T) para valores de riesgo admisible y vida útil de la obra.

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

(Monsalve, Hidrología en la ingeniería, 1995)

Para obras de drenaje en carreteras se recomienda utilizar como máximo los siguientes valores de riesgo admisible:

Tabla 44: Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

(Administradora Boliviana de Carreteras, 2007)

(*) Para la obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias. Se recomienda un periodo de retorno de T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) Vida útil considerando $n=25$ años. Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse. El Propietario de una obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional para determinar los caudales picos en alcantarillados de aguas lluvias y alcantarillas de carreteras, hasta el uso de histogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en embalses de detención de aguas urbanas. Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios. (Peru MTC, 2001)

2) Curvas intensidad duración frecuencia, IDF. La intensidad de las lluvias es la velocidad a la que cae la lluvia. La intensidad es usualmente expresada en mm/h, independientemente de la duración de la lluvia, aunque se puede afirmar que la precipitación total cae en un período de tiempo determinado (es decir, la duración). La frecuencia puede ser expresada como la probabilidad de una determinada intensidad de las precipitaciones ser igualada o superada, o puede ser expresada en términos del intervalo de media (intervalo de repetición) entre las intensidades de lluvia de una determinada cantidad o más. La frecuencia de la intensidad de las lluvias no se puede afirmar sin especificar la duración de la lluvia debido a que la intensidad de lluvia varía con la duración de las lluvias.

Los puntos de datos de lluvia se utilizan para derivar intensidad-duración-frecuencia las curvas necesarias en el análisis hidrológico. Existen dos métodos para seleccionar los datos de precipitación utilizados en los análisis de frecuencia y son las series anuales y la serie parcial de duración. El análisis de la serie anual sólo considera la precipitación máxima para cada año (generalmente el año calendario). El análisis de series de tiempo parcial toma en cuenta todas las fuertes lluvias, independientemente del número que ocurren dentro de un año en particular.

En el diseño de las instalaciones de la carretera de drenaje para períodos de retorno mayores de 10 años, la diferencia entre las dos series no es importante. Cuando el período de retorno (frecuencia de diseño) es menor de 10 años, la serie de duración parcial se cree que es más apropiada. Para cambiar las curvas de frecuencia basado en la serie anual a una basada en la serie parcial de duración, se multiplican los valores de la serie anual por los siguientes factores:

Tabla 45: Factores para serie parcial de duración

2-años periodo de retorno	1.14
5- años periodo de retorno	1.04
10- años periodo de retorno	1.01
20-años o más	1.00

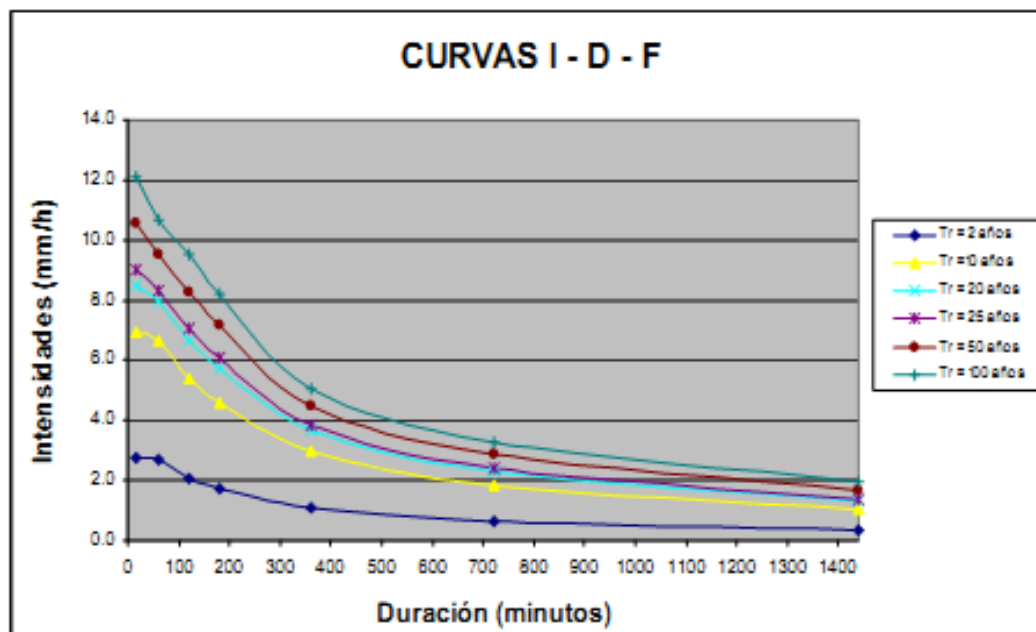
(FHWA HD S4, 2001)

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño. (Peru MTC, 2001)

Ilustración 34: Ejemplo curvas intensidad –duración- frecuencia para lluvia máxima.



(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2009)

Las curvas de intensidad – duración – frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es el siguiente:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m}$$

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, D es la duración y a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno, asimismo para su determinación se requiere hacer una linealización

previa de la ecuación para luego hallar los parámetros a , b y m por medio de regresión lineal. (Peru MTC, 2001)

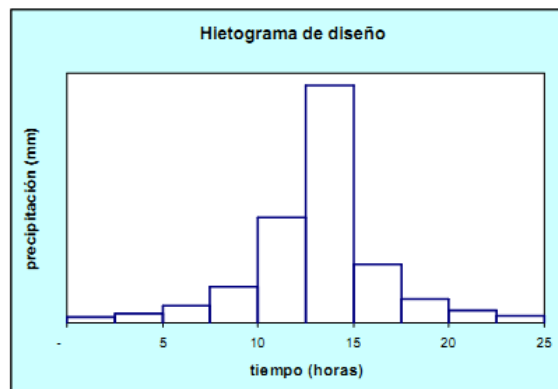
3) Hietograma de diseño. En ocasiones no es suficiente el dato de que (por ejemplo) la precipitación máxima para las 5 horas más lluviosas es de 100 mm. Es posible que necesitemos conocer la evolución de esos 100 mm. a lo largo de esas 5 horas. (Peru MTC, 2001)

Los métodos hidrológicos más modernos requieren no sólo del valor de lluvia o intensidad de diseño, sino de una distribución temporal (tormenta), es decir el método estudia la distribución en el tiempo, de las tormentas observadas. (Peru MTC, 2001)

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas el Método del Bloque Alterno, es una manera sencilla. (alternating block method, Chow et al). El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$. (Peru MTC, 2001)

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, $4\Delta t$,... y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño. (Peru MTC, 2001)

Ilustración 35: Ejemplo Hietograma de diseño



(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2009)

4) Cálculo del caudal de diseño. De manera general cuando existen datos de aforo en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los períodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son valores estándar) usando la distribución log normal, log pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), etc.

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q . cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial. De este planteamiento surgen varias metodologías que se aplican según las condiciones que reúnan en el lugar que se haya definido para la construcción de la carretera. (Peru MTC, 2001)

Para lograr asociar una probabilidad de ocurrencia a un fenómeno de lluvia de determinada magnitud es necesario utilizar procedimientos que por su naturaleza de determinación pueden ser directos, regionales e indirectos.

Los métodos directos requieren tener un punto de medición de caudales máximos en el lugar de interés. Estas lecturas se utilizan para hacer un análisis de frecuencia de la variable de interés y entregar como resultado una relación entre la magnitud de la crecida y su probabilidad de ocurrencia.

Los métodos regionales son usados cuando no existen mediciones en el lugar o cuando estas son pocas o no son confiables. En este caso el caudal de diseño se obtiene analizando las mediciones de lugares similares de la región. El fin de los métodos regionales es la obtención de una curva de frecuencia de crecidas que puede ser aplicable a cualquier punto dentro de la región hidrológicamente homogénea. Los criterios metodológicos más extendidos son los elaborados por el U.S. Geological Survey y el National Environment Research Council del Reino Unido.

En contraste con los anteriores los métodos indirectos los caudales se estiman en base a la relación que existe entre la precipitación (u otras variables explicativas) y el escurrimiento. Estos permiten transformar la precipitación efectiva (precipitación que no se evapora, no se infiltra y no es interceptada) en escorrentía. Esta metodología se vale de la mayor cantidad de información de precipitación para ampliar registros escasos de caudal y mejorar las estimaciones en los puntos de interés con escasa, o sin ninguna información.

Para una mayor seguridad y para evitar errores groseros al momento de implementar el método elegido, se recomienda utilizar un segundo calculo con otro método de manera independiente para comparar los resultados y llegar a conclusiones basadas en las en fundamentos de comparación logrando una mejor comprensión del método utilizado. A esto se le debería agregar un análisis de sensibilidad de los resultados ante cambios en los parámetros o en las condiciones iniciales para comprender de qué manera se

ven afectadas las estimaciones e identificar los factores a los que se les deberá prestar la debida atención al momento de definirlos.

a) Método racional. Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ Km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a t_c . La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión: (Peru MTC, 2001)

$$Q = 0,278 C.I.A$$

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escurrimiento

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km^2).

El coeficiente de escurrimiento (C) Es el cociente entre la velocidad de escorrentía y la intensidad de la lluvia con una intensidad media (i) cuando todas las áreas de drenaje está contribuyendo. El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan el alineamiento de la carretera en estudio. En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía variarán según dichas características. (Peru MTC, 2009)

El coeficiente de escurrimiento se tabula en está en función de la cobertura vegetal, tipo de suelo y la pendiente. A continuación una tabla en la que se describen los coeficientes (C) para las diferentes características del lugar. (HDS4, 2001)

Tabla 46: Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

(Hydraulic Design Series Number 4 FHWA, 2001)

La fórmula racional asume que si una lluvia uniforme de intensidad (i) cae en un área de tamaño (A), la tasa máxima de escorrentía en la salida a la zona de drenaje se alcanza cuando todas las partes del área de drenaje están contribuyendo. El tiempo requerido para contribución desde el punto más remoto hidráulico del área de drenaje para llegar al cause en medición, se llama el tiempo de concentración (t_c).

La escorrentía real es mucho más complicada que la fórmula racional indica. La intensidad de lluvia es rara vez la misma sobre una superficie de tamaño apreciable ni durante cualquier periodo de tiempo considerable durante la misma tormenta. Incluso si una intensidad uniforme de la precipitación de duración igual al tiempo de la concentración se produjera en todas las partes del área de drenaje, la tasa de escorrentía varía en diferentes partes de la zona debido a las diferencias en las características de la superficie terrestre y la falta de uniformidad de las condiciones antecedentes. Para el diseño de las estructuras de drenaje de carreteras, el uso del método racional debería restringirse a las áreas de drenaje a menos de 80 hectáreas.

En resumen, los supuestos implicados en el uso del método racional son los siguientes:

- El caudal máximo se produce cuando todos los de la cuenca está contribuyendo.
- La intensidad de la lluvia es uniforme durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración, que es el tiempo necesario para que el agua viaje desde el punto más remoto hidráulico a la salida o punto de interés. Tenga en cuenta que el punto más remoto hidráulico se define en términos de tiempo, no necesariamente distancia.
- La frecuencia del flujo espirotorio máximo calculado es igual a la frecuencia de las lluvias-intensidad. En otras palabras, la intensidad de las precipitaciones de 10 años se supone que producen la inundación de 10 años.

b) Método racional modificado. Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:(Perú MTC, 2009)

$$Q = 0,278 C. I. A. K$$

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m³/s)

C : Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km²)

K : Coeficiente de Uniformidad

Tabla 47: Ecuaciones que definen los factores de la fórmula general

Factor	Ecuación	Variables
Tiempo de Concentración (Tc)	$T_c = 0.3(L/S^{0.25})^{0.76}$	L= Longitud del cauce mayor(km) S= Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)
Coefficiente de Uniformidad (K)	$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$	Tc= Tiempo de concentración (horas)
Coefficiente de simultaneidad o Factor reductor (kA)	$K_A = 1 - (\log_{10} A/15)$	A : Área de la cuenca (Km ²)
Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)	$P = k_A P_d$	K _A : Factor reductor P _d : Precipitación máxima diaria (mm)
Intensidad de Precipitación (I)	$I = \left(\frac{P}{24}\right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$	P : Precipitación máxima corregida (mm) Tc : Tiempo de concentración (horas)
Coefficiente de Escorrentía (C)	$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2}$	P _d : Precipitación máxima diaria (mm) P _o : Umbral de escorrentía = (500/CN) – 50 CN : Número de curva

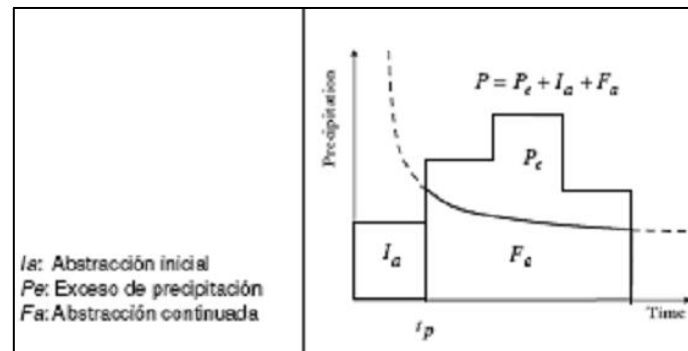
(Administradora Boliviana de Carreteras, 2007)

c) Método SCS para abstracciones. El exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial. (Peru MTC, 2001)

El hietograma de exceso de precipitación puede calcularse a partir del hietograma de precipitación en una o dos formas, dependiendo de si existe o no información de caudales disponibles para la tormenta.

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$. (Peru MTC, 2001)

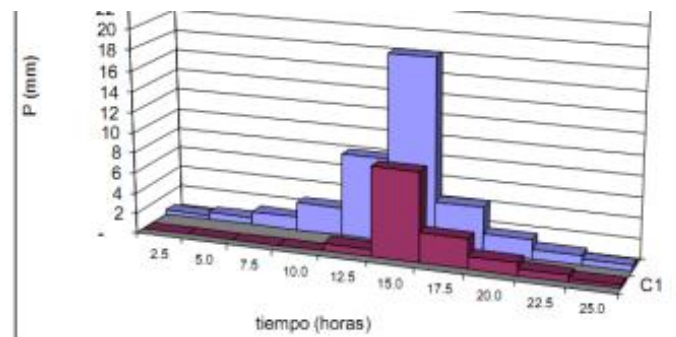
Ilustración 36: Variable en el método



(Chow Ven Te, 1994)

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN, correspondiente al área específica en estudio, valor que debe ser obtenido mediante procesos de calibración. La calibración del parámetro CN se realiza con información de campo, de algunos eventos en el que se disponga de datos de precipitación y caudales resultantes; luego se corre el modelo hasta ajustar el hidrograma calculado con el observado en el campo. Es un proceso de prueba error en donde se ajusta el parámetro (CN) hasta obtener coincidencias entre ambos hidrogramas.

Ilustración 37: Ejemplo Hietograma de Precipitación efectiva



(Peru MTC, 2001)

Como alternativa, y como valor referencial, el parámetro CN puede estimarse mediante el siguiente procedimiento:

Se define un número a dimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$. El número de curva y S se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde S está en pulgadas.

Los números de curvas se aplican para condiciones para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN (II)}{10 - 0.058 CN (II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 CN (II)}{10 + 0.13 CN (II)}$$

Tabla 48: Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc) para el método de abstracciones de lluvia del SCS

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación activa
I	Menor que 0,5	Menor que 1,4
II	0,5 a 1,1	1,4 a 2,1
III	Sobre 1,1	Sobre 2,1

(Peru MTC, 2001)

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.

Tabla 49: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales /72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

1. Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap.9.
2. Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los sucesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
4. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.
5. En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

(Hidrología Aplicada (Ven te Chow, 1994)

d) Hidrograma unitario. El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada (por ejemplo, 1 mm. durante 1 hora).

El hidrograma unitario es el método lineal propuesto por Sherman en 1932, como un hidrograma típico para la cuenca. Se denomina unitario puesto que, el volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm (ó 1 pulg).

El hidrograma unitario se puede considerar como un impulso unitario en un sistema lineal. Por lo tanto es aplicable el principio de superposición; 2 cm de escorrentía producirán un hidrograma con todas las ordenadas dos veces más grandes que aquellas del hidrograma unitario, es decir, la suma de dos hidrogramas unitarios.

Se debe tomar en cuenta que aun cuando las características físicas de la cuenca permanezcan relativamente constantes, las características variables de las tormentas producen cambios en la forma de los hidrogramas resultantes.

Las características de una tormenta son: La duración de la lluvia, el patrón intensidad-tiempo, la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de escorrentía. Podremos concluir, que el hidrograma unitario es el hidrograma de un centímetro (o una pulgada) de escorrentía directa de una tormenta con una duración especificada. La obtención de los hidrogramas unitarios se parte de valores naturales registrados o se pueden generar hidrogramas sintéticos.

El mejor hidrograma unitario es aquel que se obtiene a partir de: una tormenta de intensidad razonablemente uniforme; una duración deseada; un volumen de escorrentía cercano o mayor a 1 cm (ó 1 pulg.)

El proceso de obtención de hidrogramas unitarios a partir de registros naturales de caudales es el siguiente:

- Separar el flujo base de la escorrentía directa.

- Determinar el volumen de escorrentía directa.
- Las ordenadas del hidrograma de escorrentía directa se dividen por la profundidad de escorrentía observada.
- Las ordenadas ajustadas forman el hidrograma unitario.

Además de los hidrogramas naturales, existen hidrogramas sintéticos que son simulados, artificiales y se obtienen usando las características fisiográficas y parámetros de la cuenca de interés. Su finalidad es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar. (Peru MTC, 2001)

e) Sistema de Modelamiento Hidrológico asistido por computadora HEC HMS. El Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. (Peru MTC, 2001)

Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.

Para poder utilizar este programa se debe disponer de la siguiente información:

Características de la precipitación, la intensidad se obtiene de las curvas I-d-f (Intensidad, duración, frecuencia), o puede ajustarse utilizando los procedimientos mencionados anteriormente. Es importante señalar que las precipitaciones parciales deben introducirse en intervalos fijos.

Características de la cuenca (Área, forma, Longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de prácticas de pastoreo, tipos de precipitación, etc.). Cuando se usa el HEC – HMS uno debe juntar los elementos que componen el sistema. (Peru MTC, 2001)

2. Hidráulica y drenaje.

a. Drenaje superficial longitudinal. El presente apartado busca presentar los tipos de obras necesarios para captar y eliminar las aguas que se acumulan en la superficie de la carretera en las distintas formas que pueden generarse. El diseño de este tipo de obras debe incluir el arrastre de materiales sólidos debido a que es tan normal como problemático el tema de taponamientos y sedimentación excesiva en canales.

1) Velocidad máxima del agua. La pendiente longitudinal (i) debe ser tal que evite la acumulación de sedimentos y otros materiales arrastrados, sin representar un problema de erosión en las paredes de del canal o conducto que lo contiene. Para estos dos últimos requisitos se debe cumplir la siguiente desigualdad para la pendiente longitudinal:

$$0.5 \% < i < 2 \%$$

En términos de velocidad en función del tipo de superficie del medio que lo transporta, las velocidades máximas para cada tipo son:

Tabla 50. Velocidad máxima del agua

TIPO DE SUPERFICIE	MÁXIMA VELOCIDAD ADMISIBLE (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierta de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50 *
Concreto	4.50 – 6.00 *

* Para flujos de muy corta duración

(Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito MTC, 2001)

2) Cunetas. Las cunetas son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados o a un solo lado de la carretera, con el objeto de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial.

Se proyectarán para todos los tramos al pie de los taludes de corte, longitudinalmente paralela y adyacente a la calzada del camino y serán de algún material resistente a la erosión.

La inclinación del talud interior de la cuneta (V/H) (1:Z₁) dependerá por condiciones de seguridad, de la velocidad y volumen de diseño de la carretera, Índice Medio Diario Anual IMDA (vehículos/día).

Tabla 51. Inclinaciones máximas del talud interior de la cuneta (V:H)

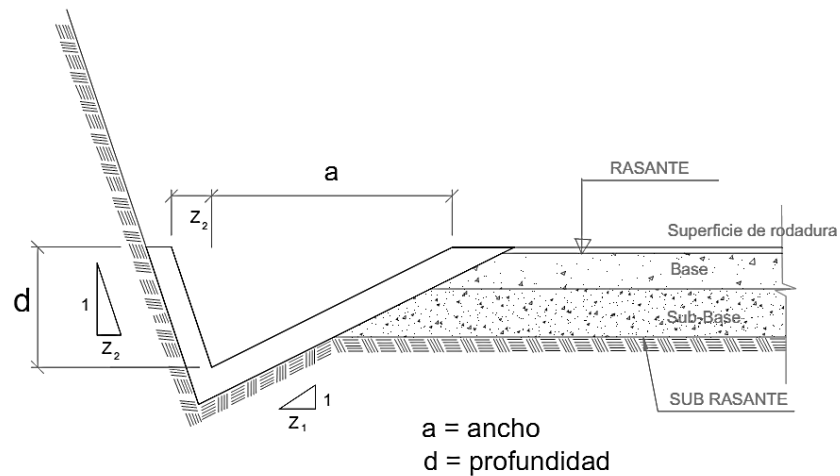
V.D. (Km/h)	I.M.D.A (VEH./DIA)	
	< 750	> 750
<70	1:02	(*)
	1:03	
> 70	1:03	1:04

(*) Sólo en casos muy especiales

(Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2001)

La inclinación del talud exterior de la cuneta (V/H) (1:Z₂) será de acuerdo al tipo de inclinación considerada en el talud de corte.

Ilustración 38: Sección típica de cuneta triangular



(Manual ABC, 2004)

a) Capacidad de las cunetas. Está definida por dos condiciones:

- Caudal que transita con la cuneta llena
- Caudal que produce la velocidad máxima admisible

Para el diseño hidráulico de las cunetas utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos, usando la ecuación de Manning:

$$Q = A \cdot V = \frac{(S^{1/2} \cdot A \cdot R_h^{1/3})}{n}$$

Dónde:

Q : Caudal (m³/seg)

V : Velocidad media (m/s)

A : Área de la sección (m²)

P : Perímetro mojado (m)

R_h : A/P Radio hidráulico (m) (área de la sección entre el perímetro mojado).

S : Pendiente del fondo (m/m)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

La rugosidad de los canales puede expresarse en términos de dos coeficiente, el coeficiente de rugosidad de Manning (n), o en términos del coeficiente de Streckler (K) cuya expresión es (1/n).

Tabla 52: Valores de K más usados.

Cunetas excavadas en el terreno	K = 33
Cunetas en roca	K = 25
Cunetas de concreto	K = 67

(Ingeniería Vial I de Hugo Morales Sosa, 2001)

Tabla 53: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

		TIPO DE CANAL	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido b. Acero soldado con remaches c. Metal corrugado sub - dren dren para aguas lluvias	0.009 0.010 0.013 0.017 0.021	0.010 0.012 0.016 0.019 0.024	0.013 0.014 0.017 0.021 0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras tubo con curvas, conexiones afinado tubo de alcantarillado con cámaras, entradas. Tubo con moldaje de acero. Tubo de moldaje madera cepillada Tubo con moldaje madera en bruto b. Madera duelas laminada y tratada c. Albañilería de piedra.	0.010 0.011 0.011 0.013 0.012 0.012 0.015 0.010 0.015 0.018	0.011 0.013 0.012 0.015 0.013 0.014 0.017 0.012 0.017 0.025	0.013 0.014 0.014 0.017 0.014 0.016 0.020 0.014 0.020 0.030
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar pintado b. Corrugado	0.011 0.012 0.021	0.012 0.013 0.025	0.014 0.017 0.030
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento Tratada Planchas b. Concreto afinado con plana afinado con fondo de grava sin afinar excavado en roca de buena calidad excavado en roca descompuesta c. Albañilería piedra con mortero piedra sola	0.010 0.011 0.012 0.011 0.015 0.014 0.017 0.022 0.017 0.023	0.012 0.012 0.015 0.013 0.017 0.020 0.027 0.025 0.032	0.014 0.015 0.018 0.015 0.020 0.020 0.027 0.030 0.035
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo grava con algo de vegetación b. Tierra, sinuoso sin vegetación con malezas y pasto maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas. c. Roca suave y uniforme irregular d. Canales sin mantención maleza tupida Fondo limpio, bordes con vegetación	0.016 0.022 0.022 0.023 0.025 0.030 0.025 0.025 0.035 0.050 0.040	0.018 0.025 0.027 0.025 0.030 0.035 0.035 0.035 0.040 0.080 0.050	0.020 0.030 0.033 0.030 0.033 0.040 0.040 0.040 0.050 0.120 0.080
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas rectos sin zonas muertas con piedras y malezas Sinuoso, vegetación y piedras Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso Abundante vegetación, sinuoso. b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos. Árboles y arbustos sumergidos Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.025 0.030 0.035 0.045 0.075 0.030 0.040	0.030 0.036 0.045 0.050 0.100 0.040 0.050	0.033 0.040 0.050 0.060 0.150 0.050 0.070
	D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto pastizales bajos pastizales altos b. áreas cultivadas sin cultivo con cultivos c. Arbustos y Malezas escasos densos d. Árboles sauces tierra despejada con troncos	0.025 0.030 0.020 0.030 0.040 0.070 0.110 0.030	0.030 0.035 0.030 0.040 0.060 0.100 0.150 0.040	0.035 0.050 0.040 0.050 0.080 0.160 0.200 0.050
	D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares Secciones Irregulares	0.025 0.035	- -	0.060 0.100

(Ven Te Chow Hidráulica de Canales Abiertos, 1983)

b) Caudal Q de aporte. Es el caudal calculado en el área de aporte correspondiente a la longitud de cuneta. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Dónde:

Q : Caudal en m³/s

C : Coeficiente de escurrimiento de la cuenca

A : Área aportante en Km²

I : Intensidad de la lluvia de diseño en mm/h

c) Dimensiones mínimas. Las dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviales. Para una sección triangular las dimensiones mínimas son las indicadas en la tabla siguiente:

Tabla 54: Dimensiones mínimas

REGIÓN	PROFUNDIDAD (D) (M)	ANCHO (A) (M)
Seca (<400 mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600 mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000 mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000 mm/año)	0.30*	1.20

* Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30

(Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito-MTC, 2004)

Para lograr el funcionamiento adecuado de la sección hidráulica, se requiere que en los proyectos viales se considere:

- La construcción de una berma exterior de recepción con ancho mínimo de 60 cm (entre la cuneta y pie del talud de corte), con la finalidad de recibir la posible caída de materiales del talud superior, los cuales al impactar, deterioran las losas, y colmatan la sección hidráulica.

- Así mismo es necesario establecer la necesidad de mantenimiento de cunetas por lo menos dos veces al año (antes y después del período de lluvia, especialmente en zonas de sierra y selva del país).

d) Desagüe de las cunetas. La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas de alivio. En región seca o poca lluviosa la longitud de las cunetas será de 250m como máximo, las longitudes de recorridos mayores deberán justificarse técnicamente; en región muy lluviosa se recomienda reducir esta longitud máxima a 200m. Salvo justificaciones técnicas, cuando se tenga presencia de áreas agrícolas, viviendas ubicadas sobre el talud inferior de la carretera que pueden ser afectadas por descargas de alcantarillas de alivio. En este aspecto, el proyectista deberá realizar una evaluación exhaustiva para ubicar adecuadamente los puntos de descarga de alcantarillas de alivio sin afectar la propiedad adyacente.

e) Revestimiento de las cunetas. Las cunetas deben ser revestidas, para evitar la erosión de la superficie del cauce o conducto, productos de corrientes de agua que alcancen velocidades medias superiores a los límites fijados en la tabla de velocidades admisibles o cuando el terreno es muy permeable que permite la filtración hacia el pavimento, y consecuentemente su deterioro. El revestimiento de las cunetas puede ser de concreto, o de ser el caso de mampostería de piedra, previa verificación de velocidades de acuerdo a las pendientes finales del trazo geométrico. Se recomienda un revestimiento de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 0.075m.

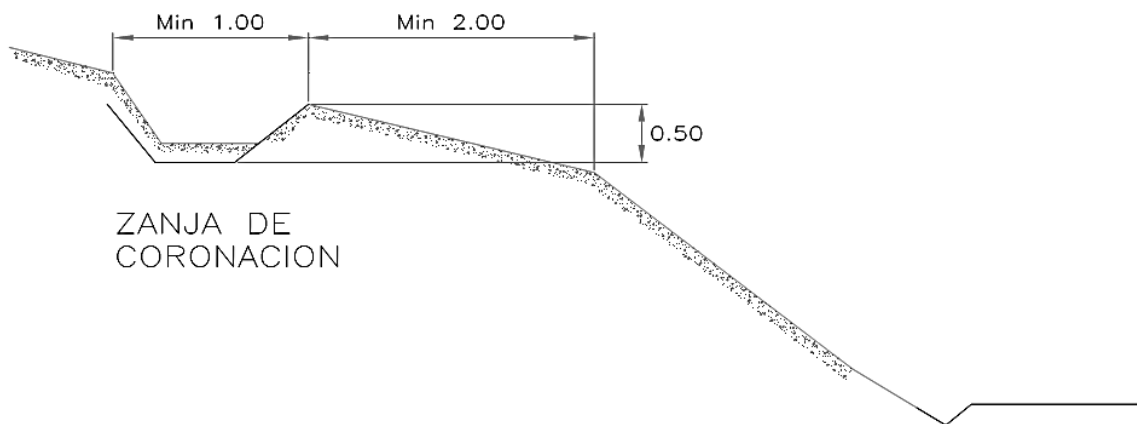
3) Tipos de cunetas

1) Cuneta de coronación. Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen en la parte superior de los taludes de corte, para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia un drenaje.

Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen en la parte superior de los taludes de corte, para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno, especialmente en zonas de pendiente pronunciada. Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere un mayor tamaño. Si la pendiente es mayor que 2%, es necesario que el canal tenga recubrimiento de concreto simple o enrocado, teniendo en cuenta además del área mojada y la rugosidad del canal. Para pendientes mayores, las zanjas deben ser escalonadas con emboquillado de piedra bajo la caída.

Se puede prescindir de las cunetas de coronación en taludes de suelos resistentes a la erosión con declives de 1:2 (V: H) o menores, o cuando durante la construcción se hayan adoptado medidas efectivas de control de la erosión.

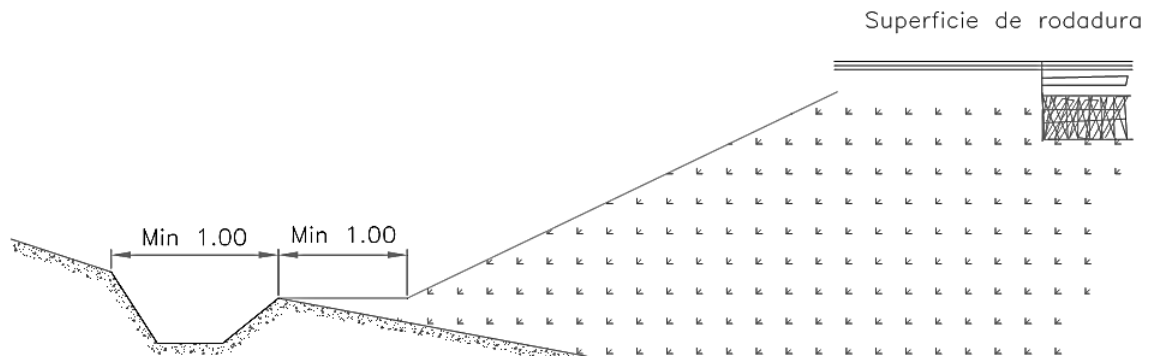
Ilustración 39: Detalle de cuneta o zanja de coronación



(ABC, 2004)

b) Cuneta o zanja de drenaje. Las zanjas de drenaje son canales que se construyen en la parte inferior de los taludes de relleno en forma longitudinal lateral o transversal al alineamiento de la carretera, para recoger las aguas que bajan por el talud y terrenos adyacentes para conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno. Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere una mayor dimensión.

Ilustración 40. Detalle de cuneta o zanja de drenaje

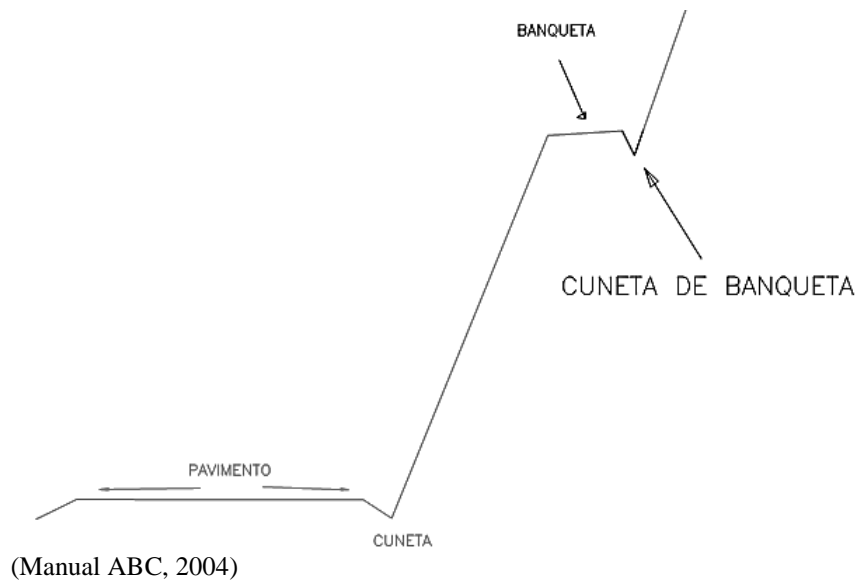


(Manual ABC, 2004)

c) Cuneta de banqueta. Son aquellas que se ubican al pie del talud inclinado de cada banqueta, las cuales consisten en la construcción de una o más terrazas sucesivas con el objetivo de estabilizar un talud. Pueden tener sección triangular, rectangular o trapezoidal, de acuerdo al caudal de

escorrentía superficial que transportará y su descarga se efectuará hacia un curso natural o mediante caídas escalonadas hacia las cunetas.

Ilustración 41: Detalle de cuneta de banqueta



4) Colectores de agua de lluvia (Bolivia, *et al*). Definiremos como de esta manera a los sistemas de conductos subterráneos y sistemas colectores dispuestos para drenar el agua que entra en contacto con la superficie de la carretera y que son encausados por medio de sus cunetas, para luego destinarlo a un solo punto de descarga. Los conductos se diseñan para estar tanto sin presión como para el caso en que trabajen a presión.

a) Sumideros y rejillas. Con base a sus características operacionales, los sumideros pueden ser clasificados en laterales en solera, horizontales de rejilla y mixtos.

Los laterales en solera poseen una abertura de admisión dispuesta en la solera paralela a la dirección del escurrimiento. Las aberturas de este tipo de sumidero son efectivas en la admisión de flujos con contenido de basura flotante. Una característica a considerar es que su capacidad receptora decrece cuando la pendiente de la cuneta de aproximación aumenta, este tipo de sumidero se recomienda utilizarlo en la intercepción de escurrimientos por cauces de pendientes longitudinales menores de 3%.

Los sumideros horizontales de rejilla consisten básicamente en una abertura en el fondo de la cuneta con una parrilla que regula el tamaño de objetos de ingreso al sumidero. Es efectiva no importando la pendiente de la curva de aproximación siendo su mayor desventaja la facilidad de obstrucción con hojas o basura. No se recomienda para áreas de tránsito de peatones o ciclistas. Dando prioridad en su uso para ubicaciones como junto a bermas y las medianas.

El mixto reúne las dos anteriores, es decir, presenta una entrada lateral en solera y una horizontal en rejilla, siendo de gran capacidad.

Para finalizar diremos que la elección del tipo de sumidero dependerá de los siguientes factores:

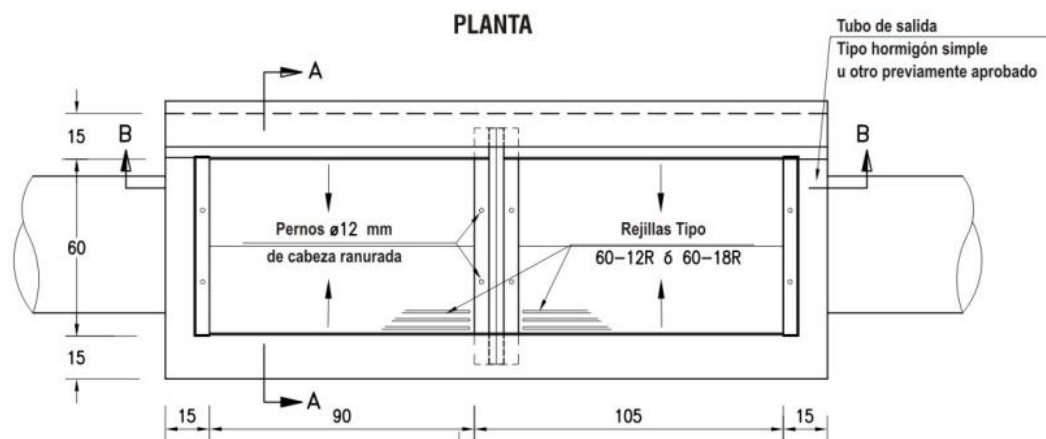
- Condiciones hidráulicas requerida
- Condiciones económicas
- Sitio de ubicación

El espaciamiento entre sumideros no se fijará de forma arbitraria sino que se recurrirá a un análisis racional de los siguientes factores:

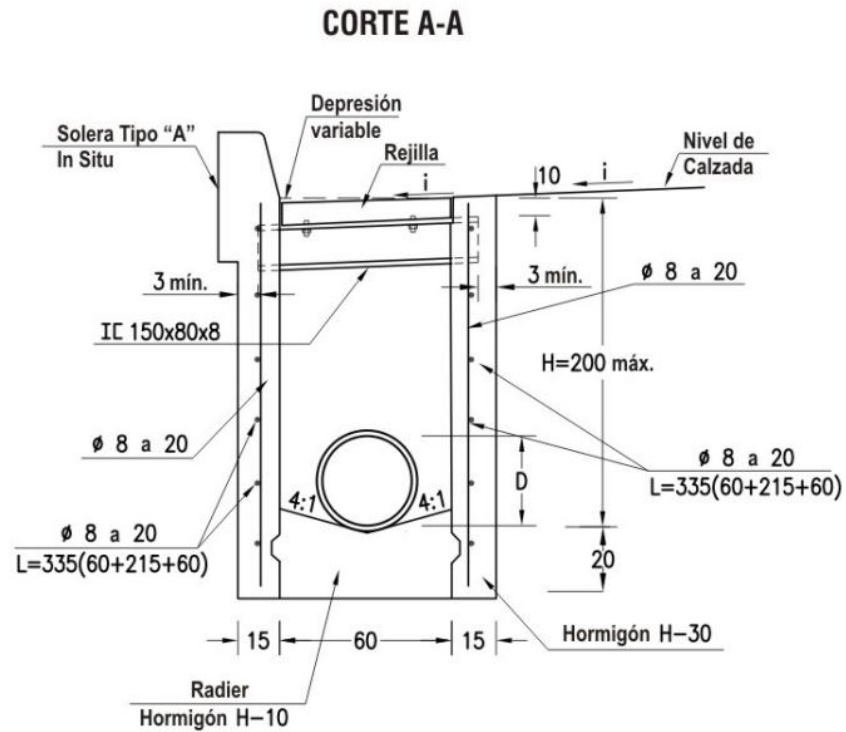
- Magnitud de escurrimiento
- Inclinación
- Ubicación y geometría de enlaces e intersecciones de inclinaciones
- Ancho del flujo permisible
- Capacidad del sumidero
- Acceso para la mantención
- Volumen y desplazamiento de vehículos y peatones
- Cantidad de materiales flotantes

Para el caso en que sea necesario disponer de varios sumideros en serie se recomienda como espaciamiento mínimo de 6m para que el ingreso del agua se uniformice en todos los sumideros de la zona.

Ilustración 42: Ejemplo de sumidero de rejilla

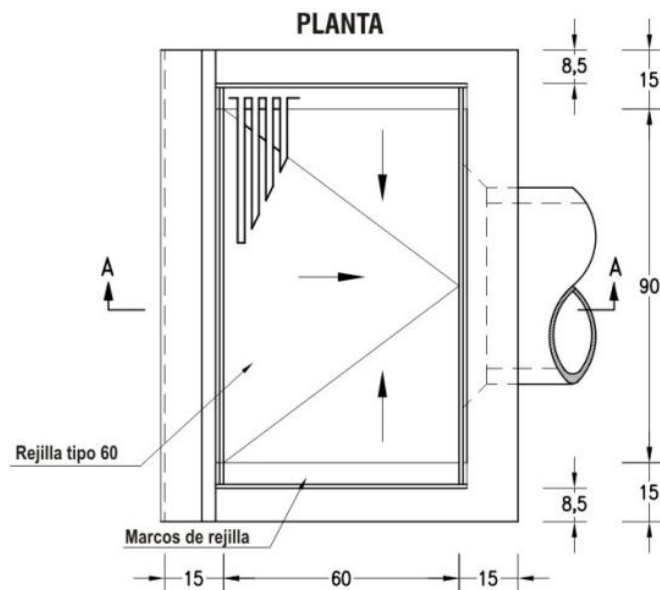


Continuación ilustración 42: Ejemplo de sumidero de rejilla

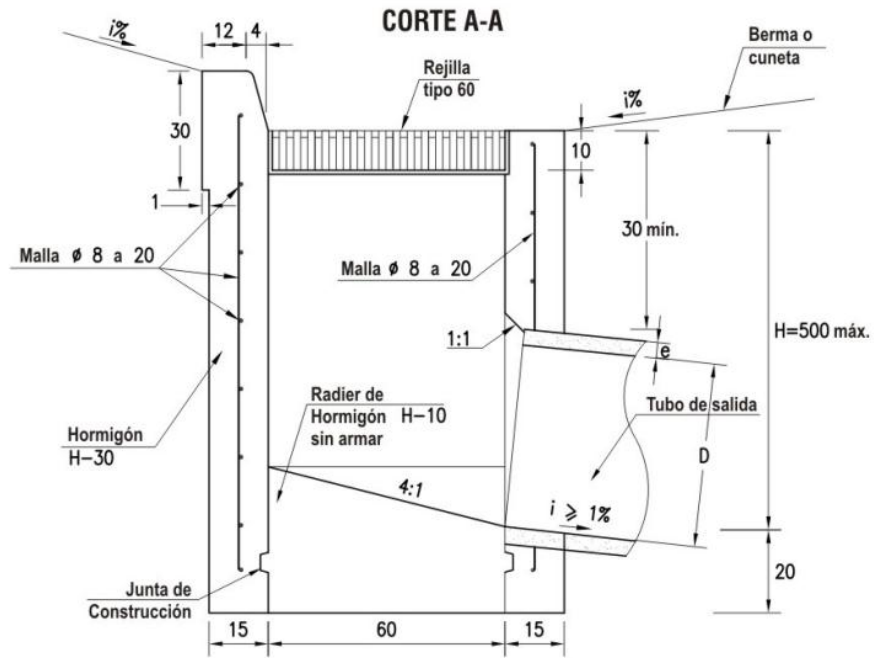


(Manual ABC, 2004)

Ilustración 43: Ejemplo de sumidero horizontal

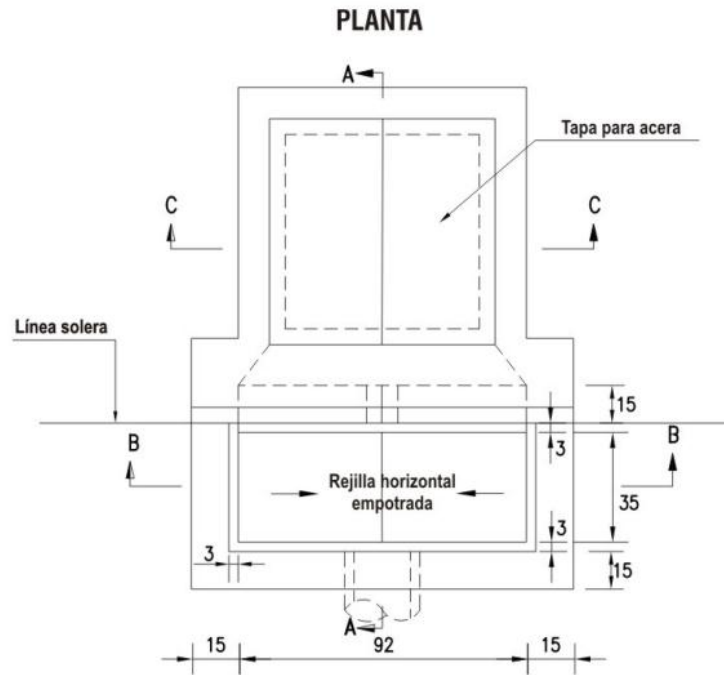


Continuación ilustración 43: Ejemplo de sumidero horizontal

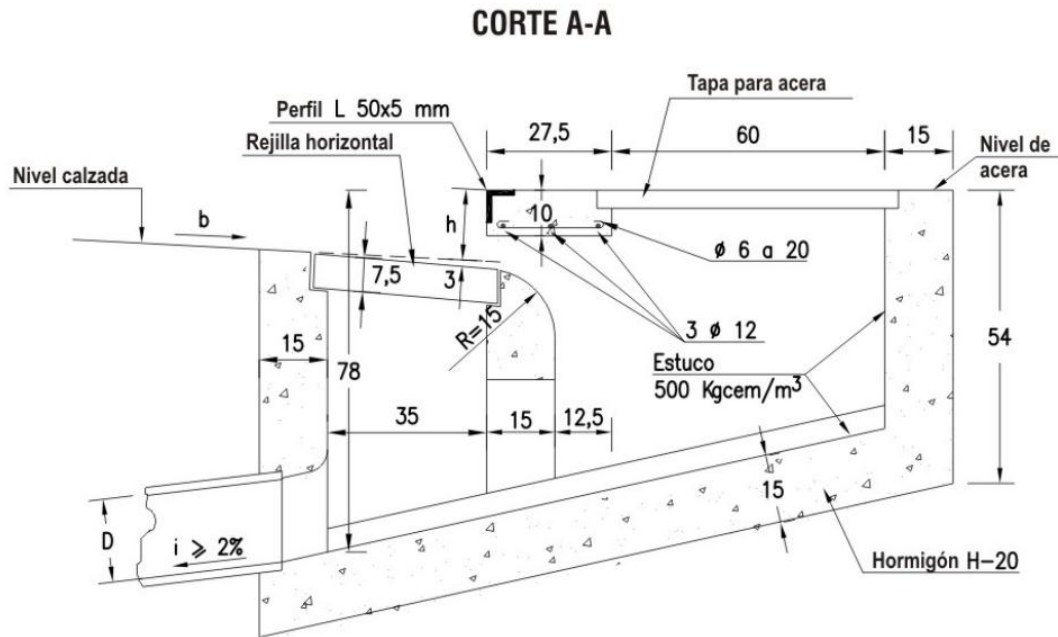


(Manual ABC, 2004)

Ilustración 44: Ejemplo sumidero mixto



Continuación ilustración 44: Ejemplo sumidero mixto



(Manual ABC, 2004)

i) Diseño hidráulico de sumideros. Para la altura de diseño de la superficie del agua dentro del sumidero, la clave del tubo de salida se pondrá a una profundidad que absorba las pérdidas de carga de entrada en el tubo más un resguardo de 25cm entre el nivel de diseño del espejo de agua dentro del sumidero y la abertura de admisión en la cuneta, de esta forma se consideran también las pérdidas por turbulencia, los efectos de materiales en suspensión y la carga de velocidad para condiciones normales. Para lograr una mejor desarrollo en la entrada de los sumideros se puede incluir depresiones de drenaje que es una concavidad revestida en el fondo del canal que se diseña para concentrar e inducir el flujo dentro de la abertura de entrada. El diseño de sumideros mixtos no considerara la abertura de solera, ya que no es un aporte significativo.

Para definir el coeficiente de pérdida de carga en lo sumideros se utilizaran antecedentes experimentales de sumideros similares estudiados en Estados Unidos.

Analizaremos el caso más sencillo, que es cuando la carga de agua es pequeña. En este caso el sumidero se comportara como un aliviadero o vertedero. Para cargas mayores a 30 cm, su comportamiento se definirá hidráulicamente como un orificio. En el límite de estos dos comportamientos existe una zona de inestabilidad con formación de vórtices y remolinos.

Existirá una relación entre el nivel de agua sobre la rejilla y el caudal que está ingresando cuando el sumidero se comporta como un vertedero, y se define como:

$$Q = C \cdot P \cdot H^{\frac{2}{3}}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

P = Perímetro exterior de la reja, sin contar espesor de barras externas (m)

H = Altura de agua sobre la reja (m)

C = Coeficiente experimental de gasto (de acuerdo con experimentaciones americanas es igual 1.6 en unidades métricas)

Cabe recalcar que la ecuación anterior se realizó en un sumidero colocado en una depresión. También se recomienda utilizar la mitad del perímetro tomar en cuenta las obstrucciones que eventualmente se dan por ramas, hojas y/o basura.

b. Drenaje transversal

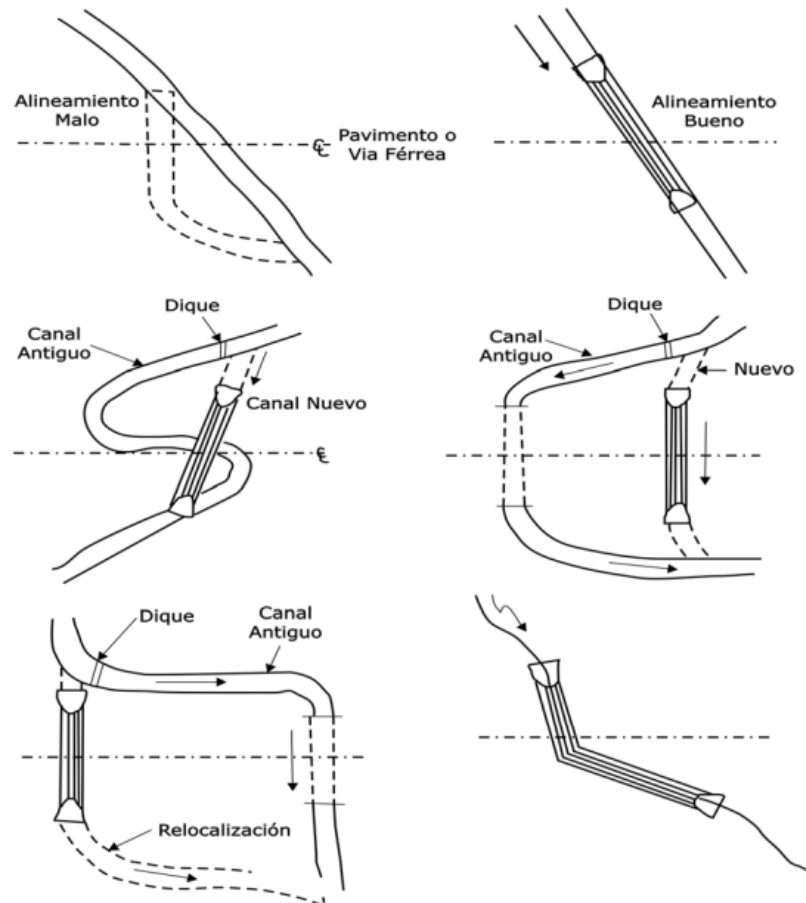
1) Diseño de alcantarillas. Una alcantarilla es un conducto hidráulicamente corto que sirve para proveer las facilidades necesarias para el paso de las aguas de magnitudes menores de un lado al otro de la vía, manteniendo, en lo posible, las condiciones naturales del drenaje.

Hidráulicamente, las alcantarillas se definen como conductos cerrados, ya que pueden operar con una línea de carga de la corriente de agua por encima de su corona y, por consiguiente trabajar a presión. Si no opera a caudal lleno es considerada como un canal abierto.

Algunas recomendaciones generales sobre su diseño e instalación serían:

- Coloque los cruces de caminos sobre drenajes naturales, perpendiculares a la dirección del flujo a fin de minimizar la longitud del tubo y el área afectada.
- Use tubos individuales de gran diámetro o un cajón de concreto en vez de varios tubos de menor diámetro para minimizar potenciales taponamientos.
- En cauces muy anchos los tubos múltiples son más recomendables para mantener la distribución del flujo natural a través del canal.
- Para sitios con altura limitada, use “tubos aplastados” o tubos de sección en arco que maximizan la capacidad al mismo tiempo que minimizan la altura.
- Coloque alineadas las alcantarillas sobre el fondo y en la parte media del cauce natural de tal manera que la instalación no afecte la alineación del canal del arroyo ni la elevación del fondo del cauce.

Ilustración 45: Localizaciones correctas de alcantarillas.



(Guía Hidráulica Nicaragua, 2004)

2) Dimensionamiento de las alcantarillas. La Federal Highway Administration (FHWA) en *Hydraulic Design Num.5, Hydraulic Design of Highway Culverts*, presenta diversas metodologías para el cálculo de diferentes tipos de alcantarillas, por procedimientos numéricos y gráficos.

En dicho documento la determinación del caudal por el control de entrada está dado por la relación:

$$\frac{H_e}{D} = K \left[\frac{Q}{A \cdot D^{0.5}} \right]^M$$

Donde:

H_e , la profundidad de la carga en el control de entrada

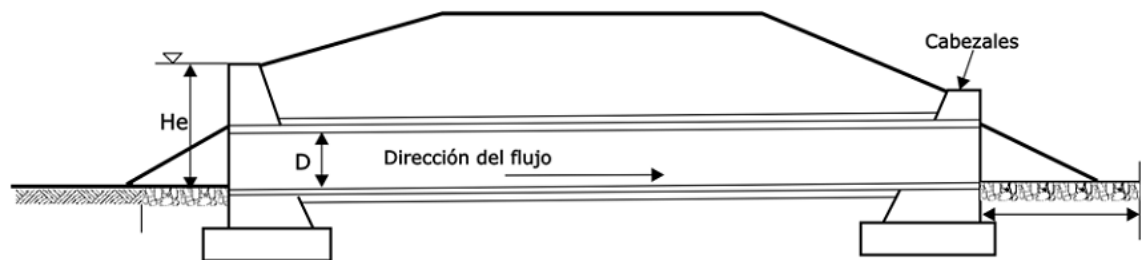
D el diámetro interno de la tubería.

Q , caudal

A , es el área llena de la tubería

K y M constantes, que dependen del tipo de alcantarilla y la forma de los aletones de entrada. La FHWA3 elaboró valores para estas constantes.

Ilustración 46: Se presenta el perfil de la alcantarilla con control de entrada



(HDS 5-Hydraulic Design of Highway Culverts FHWA, 1985)

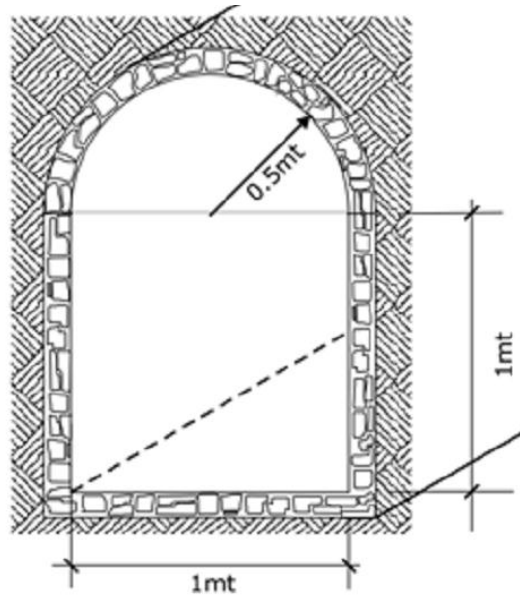
3) Cálculo de las dimensiones. El cálculo se realiza por medio de nomogramas, elaboradas originalmente por la FHWA y otros nomogramas desarrollados para el uso en esta Guía por El Consultor, usando para ello cálculos propios con los formatos de la FHWA .

La FHWA presenta una gran variedad de nomogramas, sin embargo se seleccionaron las que son de interés para esta guía: tuberías de concreto (Ilustración 48), alcantarillas de hierro corrugado (Ilustración 49) y cajas de concreto (Ilustración 50).

Los nomogramas desarrollados para la guía son: para tubería de Ribloc (Ilustración 51), cajas de mampostería (Ilustración 52) y tubería semicircular de mampostería (Ilustración 53).

Adicionalmente se determinaron para la Guía capacidades de caudales de estructuras en forma de portal de mampostería con las dimensiones que se muestran en la (Ilustración 52) y para diferentes cargas.

Ilustración 47: Portal de mampostería



(Guía Hidráulica Nicaragua, 2004)

Tabla 55: Descarga de portal de mampostería en m³/s dimensiones según figura anterior.

Carga sobre la corona (m)	0.45	1	1.5	2	2.5
Descarga (m ³ /s)	3.7	4.834	5.716	6.566	7.325

(Guía Hidráulica Nicaragua, 2004)

Procedimiento de cálculo de alcantarillas por medio de los nomogramas.

1. Se determina el caudal de diseño Q_d mediante el estudio hidrológico.
2. Se propone el tipo y diámetro de la tubería (D) y el número de conductos

3. Se estima la carga H_e (Ilustración 51), que corresponde a la altura de la alcantarilla (D) más cierta altura sobre la corona. En el caso de las alcantarillas podría llegar hasta la altura del cabezal, lo que correspondería a $H_e = D + 0.45$ mts.

4. Con el valor estimado de H_e se calcula H_e/D .

5. En el gráfico que corresponde al tipo de material a usar, se ubica el valor H_e/D en la escala correspondiente titulada: "Carga del agua en diámetro"; de este punto se traza un línea recta hasta la escala del lado izquierdo que aparece el "Diámetro" D y el valor que intercepta la línea en la escala del medio rotulada "Descarga Q en m^3/s ", corresponde al caudal en m^3/s por conducto.

6. El valor de este caudal se multiplica por el número de conductos, si fuesen más de una, y el valor encontrado corresponde al Caudal final.

7. Si el caudal final es semejante al Q_d entonces la elección del diámetro y número de la tubería fue correcta, caso contrario se debe probar una nueva dimensión o cantidad de tubos.

Nota: en el caso de la tubería semicircular de mampostería (Ilustración 53), el valor de D que se suma a la carga para obtener H_e , es realmente el radio del círculo es decir $\text{Diámetro}/2$.

Ilustración 48: Altura de carga y capacidad para tubos de concreto con control de entrada (sistema métrico)

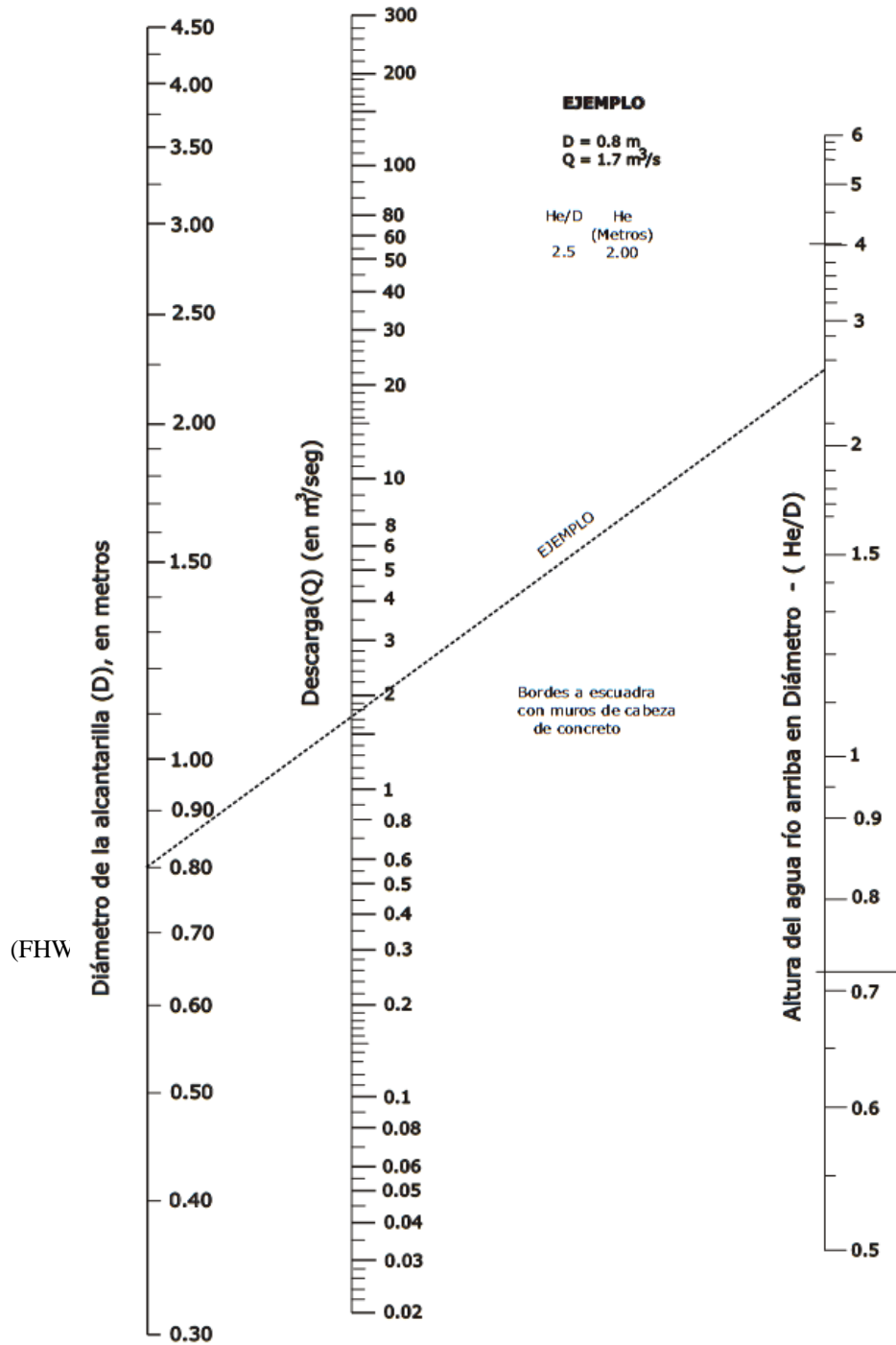
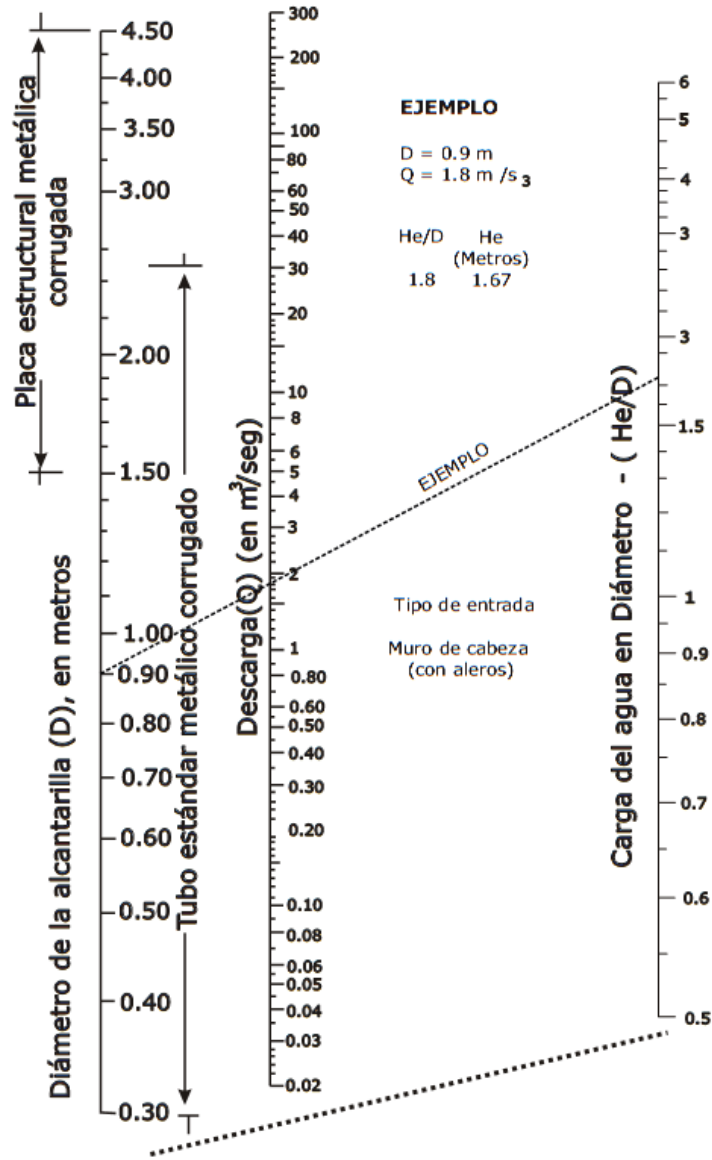


Ilustración 49: Altura de carga y capacidad para alcantarilla de tubo de metal corrugado con control de entrada (sistema métrico).



Muro de cabeza con muros de alero.

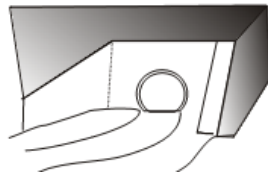
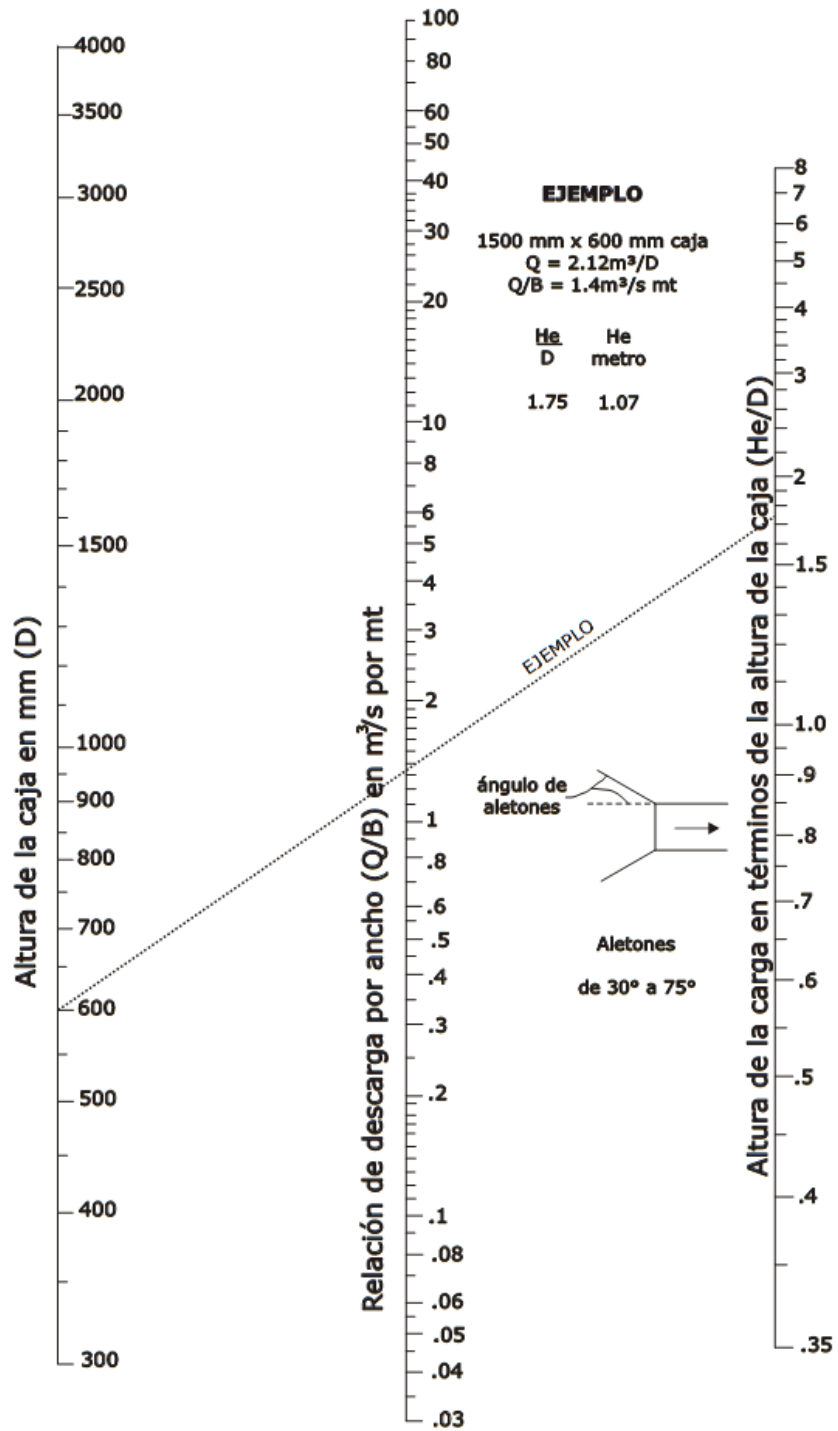
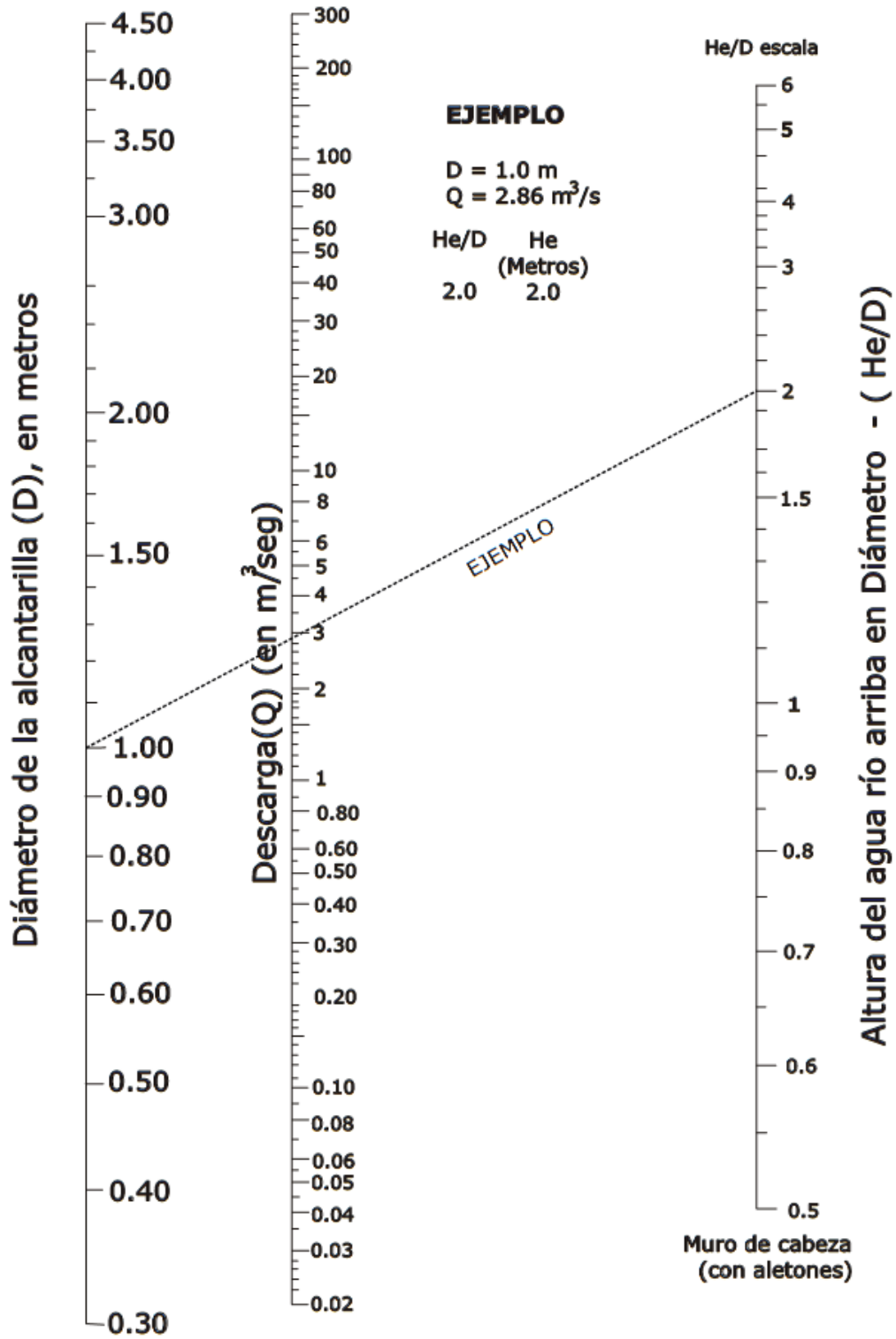


Ilustración 50: Altura de la carga y capacidad para cajas de concreto con control de entrada (sistema métrico).



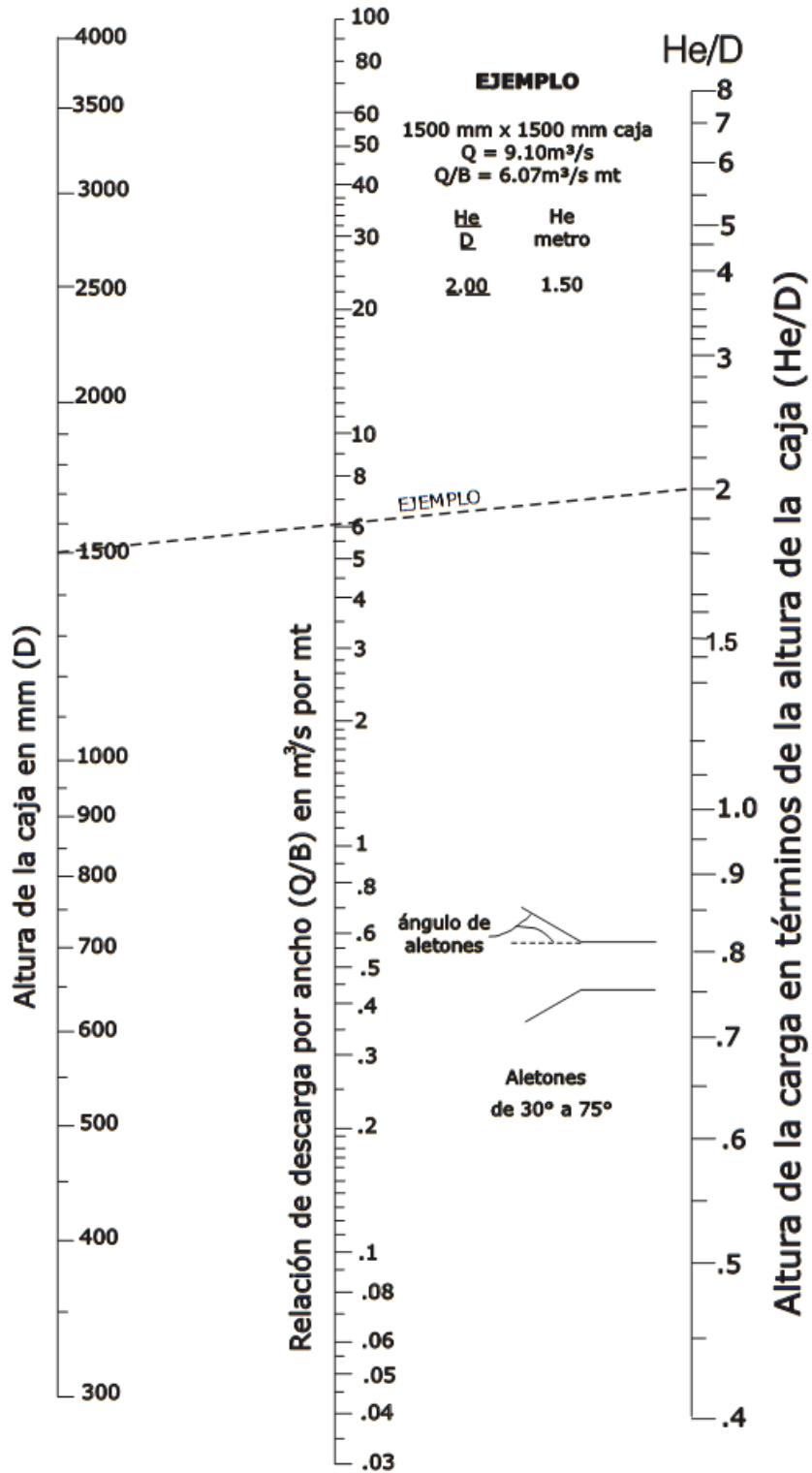
(FHWA HDS 5, 1998)

Ilustración 51: Altura de la carga y capacidad para alcantarilla de Ribloc con control de entrada (sistema métrico).



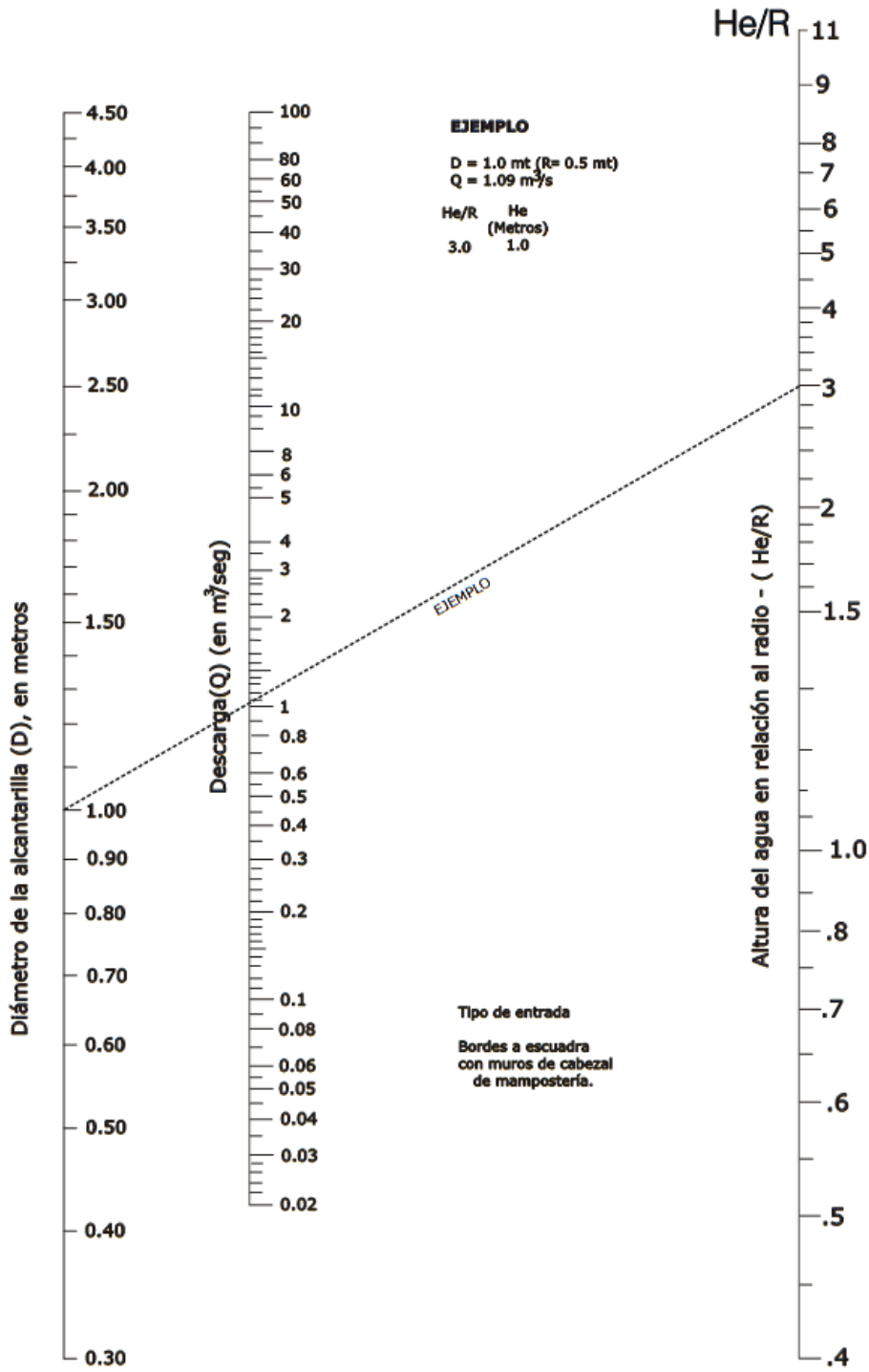
(FHWA HDS 5, 1998)

Ilustración 52: Altura de carga y capacidad para cajas de mampostería con control de entrada (sistema métrico).



(Guía Hidráulica Nicaragua, 2004)

Ilustración 53: Altura de carga y capacidad para alcantarilla semicircular de mampostería con control de entrada (sistema métrico).



(Guía Hidráulica Nicaragua, 2004)

VII. AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN NUEVAS TECNOLOGÍAS

A. Introducción

Las carreteras generalmente se construyen con el objetivo de mejorar la comunicación entre distintos puntos y de aquí que se mejoren aspectos económicos y sociales de las poblaciones afectadas. Con un incremento de infraestructura vial, se reducen tiempos de viaje y costos de utilización de un vehículo, y al mismo tiempo se incrementa el acceso a mercados, servicios generales, entre otros. Sin embargo, además de todos los aspectos positivos que la construcción de una carretera implica, también se pueden generar impactos negativos en las comunidades cercanas y en el ambiente.

El calentamiento global, la deforestación, la contaminación de cuerpos de agua y la pérdida de la biodiversidad son algunos de los problemas a los que se enfrenta Guatemala debido a la falta de una conciencia ambiental que considere formas sostenibles de desarrollar nuevas tecnologías. Las consecuencias de estas acciones se ven reflejadas en los daños y consecuencias del cambio climático tales como huracanes, sequías, inundaciones, entre otros.

Actualmente se empiezan a implementar en Guatemala manuales que consideren factores ambientales en el momento de diseñar, planear, construir y darle el mantenimiento adecuado a un proyecto. En otros países, estos manuales están mejor desarrollados, y se implementan en el momento de emprender un nuevo proyecto de construcción.

Por estas razones se propone en el presente trabajo hacer una recopilación de todos los temas ambientales tratados en los distintos manuales sobre construcción de carreteras de SIECA y proponer una complementación sobre temas no considerados, y un único documento que recopile toda la información sobre temas ambientales para una más fácil consulta.

B. Resumen de manuales de SIECA

1. Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. El *Manual Centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* abarca brevemente temas sobre:

- a) Control de material

b) Disposiciones ambientales generales

a. Control de material. En cuanto al control de material, se exige que el contratista seleccione fuentes y material aceptable y además, que informe al contratante sobre los mismos.

b. Disposiciones ambientales generales. El objetivo de las disposiciones ambientales generales, por su lado, es minimizar el impacto ambiental que la construcción de una obra vial pueda ocasionar en un espacio físico (natural o artificial). Con esto se evitan modificaciones innecesarias en el medio y contaminación de parte de residuos de materiales también innecesarios.

Establece que en un contrato son aplicables todas las disposiciones mencionadas en la legislación nacional vigente y sus reglamentos. En estos reglamentos legales se establecen exigencias ambientales para proyectos, incluyendo obras viales.

1) **Campamentos, plantas y manejo de materiales**

a) Campamentos y áreas de trabajo. Antes de utilizar un lugar determinado para las instalaciones de faenas, el contratista debe presentar al contratante un informe técnico con la siguiente información:

- Características del medio: suelos, geomorfología, hidrología, tipo de vegetación y sitios arqueológicos
- Sensibilidad ambiental
- Descripción de las instalaciones más importantes
- Evaluación ambiental
- Diseño de medidas para la restauración paisajística

Es importante que se asegure una eliminación adecuada de desperdicios y basuras disponiendo adecuadamente de baños químicos, letrinas, fosas sépticas, pozos negros, entre otros.

Al finalizarse la construcción, se debe restituir el lugar a las condiciones iniciales, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Retirar cualquier rastro de ocupación del lugar (chatarra, escombros, cercos, instalaciones eléctricas y sanitarias, estructuras, pavimentos, plataformas, etc.).
- Recuperar o restituir la cubierta vegetal autóctona.

- Rellenar cualquier pozo que se excavó para evitar accidentes y peligros al ambiente.
- Eliminar totalmente cualquier rampa de carga y descarga.
- Dejar en el lugar solamente elementos que puedan mejorar el ambiente; lo demás debe retirarse.

b) Plantas de producción de materiales. Para ubicar e instalar una planta de asfalto, concreto, trituración u otra similar se deben tomar en cuenta ciertos criterios ambientales tales como un lugar plano (para evitar movimientos innecesarios de suelos) sin una gran cubierta vegetal y alejados lo más posible poblados. Si se construye una obra en áreas urbanas o cercanas a éstas es necesario solicitar una autorización al organismo correspondiente.

Cualquier planta de producción debe reducir la contaminación por ruido, residuos, gases, partículas en suspensión y sedimentos que se generen por las mismas plantas.

Los límites de las emisiones se rigen por los organismos correspondientes y la legislación vigente. Además, el contratista debe especificar qué métodos utilizará para controlar las emisiones atmosféricas y ruido. Estos métodos deberán ser presentados al contratante antes de iniciar cualquier labor.

Todas las instalaciones deben tener los dispositivos necesarios para evitar la contaminación al ambiente, como por ejemplo, la producida por desechos sólidos, derrames de materiales tóxicos, emisiones de gases, ruidos y partículas transportables por el viento.

c) Manejo y transporte de materiales peligrosos. El almacenamiento y/o transporte de materiales contaminantes, tóxicos o peligrosos debe estar respaldado por la normativa existente. También es importante que el contratista tome las medidas necesarias para prevenir derrames, pérdidas y daños por lluvia, robos, incendios u otros.

2) Explotación de sitios de préstamos

a) Disposiciones generales. El contratista debe restaurar cualquier área dañada llevando a cabo cualquier medida que sea necesaria.

b) En cauces naturales de agua. Si es necesaria la extracción de material árido, relleno integral u orgánico de un cauce de agua se debe seguir la normativa legal existente.

No es permitido efectuar excavaciones parciales en un cauce que dejen depresiones localizadas o

cualquier otro tipo de trabajo que impida, desvíe u obstaculice el flujo usual de las aguas. Para no contaminar con aceites y otras sustancias se debe evitar la introducción de maquinaria en las corrientes de agua. La extracción no está permitida en una longitud de cauce de 50 metros a ambos lados de los puentes para evitar daños a la estructura o aumentos en su vulnerabilidad.

c) En cortes de caminos. Sin autorización escrita del contratante, no es permitida la extracción de materiales de los siguientes sitios:

- Ensanche de un corte del camino fuera de los límites definidos por el perfil tipo del proyecto.
- Explotaciones existentes inmediatas a la faja del camino, salvo que no haya otro préstamo alternativo, y que esta extracción genere una mejora definitiva del área (drenaje o paisaje).

d) En áreas de préstamos. Si el contratista quiere abrir una zona de explotación esta debe ubicarse a una distancia no inferior a 200 m del eje de la calzada para que no pueda ser vista desde el camino, y a una distancia no inferior a 500 m del eje de la calzada, si corresponde a zonas de relieve muy plano, donde no se pueda evitar su visión.

No es aceptable, sin previa autorización, la explotación de áreas especialmente sensibles, tales como suelos agrícolas, bosques y áreas con vegetación autóctona.

Luego de finalizar la obra, es responsabilidad del contratista dejar el lugar con las condiciones estéticas y de drenaje adecuadas para que no existan nuevas áreas de aguas estancadas y se evite el riesgo de deslizamiento y erosión de los taludes de la explotación. Tampoco deben dejarse en condición precaria viviendas o terrenos que podrían causar erosión y obstruir el paso de corrientes de agua.

El contratista debe remover suelo fértil antes de comenzar la extracción y reemplazarlo después de finalizar la obra para facilitar la regeneración natural del área o su uso posterior para cultivos.

3) Botaderos. El contratista deberá escoger como los lugares que serán utilizados como botaderos áreas fuera de la vista de los usuarios, a una distancia no inferior a 200 m del eje del camino y preferentemente con mínimo valor edafológico, donde no se altere en forma significativa la fisonomía original del terreno y no se interrumpan o contaminen los cursos de aguas superficiales o subterráneos.

Es posible, entonces, utilizar como botaderos, depresiones naturales o artificiales, que se deben rellenar en capas de manera ordenada, sin sobrepasar los niveles de los terrenos circundantes y permitiendo el

drenaje en forma adecuada.

El contratista deberá procurar que no existan procesos evidentes de arrastre por aguas de lluvias y erosión para no exponer el material depositado a procesos naturales de lixiviación, que puedan afectar cuerpos de agua próximos al lugar.

Los desechos químicos que se descarguen en estas áreas deben envasarse en depósitos adecuados según el tipo de sustancia, y luego deben ser enterrados a profundidades y en terrenos adecuados, según lo indique la reglamentación vigente.

Los materiales estériles tales como botones deben recubrirse con suelos orgánicos provenientes de los escarpes con otra vegetación de crecimiento natural en la zona para permitir superficies parejas que ayuden al desarrollo de la vegetación. Este recubrimiento deberá tener un espesor mínimo de 20 cm.

Todos los botaderos que use el contratista deberán contar con la aprobación del contratante.

4) Precauciones durante los trabajos

a) Protección de la flora y fauna. Si las obras se están realizando en zonas en donde la vegetación es propensa a incendios, o si se está trabajando dentro o cerca de áreas protegidas o cerca de plantaciones naturales o artificiales importantes, el contratista debe evitar fogatas u cualquier otra circunstancia que pueda originar un incendio.

Asimismo, si durante la construcción se descubren áreas o ecosistemas biológicos sensibles se deben suspender inmediata y temporalmente los trabajos, y reportar el incidente al contratante.

Se debe evitar:

- Colocar clavos, cuerdas, cables, cadenas u otros elementos similares en árboles y arbustos.
- Encender fuego cerca de árboles y arbustos.
- Manipular combustibles, aceites y productos químicos en zonas de vegetación.
- Apilar materiales contra los troncos de los árboles.
- Almacenar materiales en zonas de vegetación o estacionar maquinaria fuera de los lugares previstos.
- Cortar ramas y raíces importantes si no se cubren los cortes con material adecuado.
- Enterrar la base del tronco de árboles.
- Dejar raíces sin cubrir y sin protección en las zanjas y destronques.

- Realizar revestimientos impermeables en zona de raíces.

Si se identifica fauna de valor ecológico, se deben realizar las talas y desbroces en invierno para disminuir la pérdida de animales y no interferir con épocas de reproducción y crianza. Además, el desbroce del terreno se debe realizar antes de extraer la tierra vegetal.

El contratista debe indicar la existencia de árboles y zonas arbustivas existentes, las cuales deberán conservarse y someterse a trabajos de limpieza y raleo apropiados.

b) Uso y resguardo de curso de agua. El uso de agua requerida para las diversas faenas de construcción, que sea obtenida de fuentes naturales, deberá ser autorizado por las dependencias correspondientes y el contratante.

Para usar los recursos de agua existentes en el área del proyecto, el contratista debe presentar al contratante una gestión de aprovechamiento de agua que muestre la autorización para usar dichos recursos.

La calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, puede ser afectada por derrames de aceite, grasa, combustible, asfalto u otras causas. No es permitido que estos residuos tóxicos o cualquier otro elemento contaminante sea vertido en captaciones de ríos, canales, esteros o embalses, ni cerca de los mismos. También debe evitarse el lavado o enjuague de equipos que puedan producir escurrimiento o derrames de contaminantes cerca de los cursos de agua.

c) Recuperación de la vegetación. Si se daña una cubierta vegetal importante no contemplada en el contrato, el contratista deberá de disponer de los recursos para recuperar la vegetación nativa y tener una tasa de replantación de dos a una. Esto implica que por cada árbol/arbusto retirado, se deben plantar dos.

Si es necesario para el proyecto, la vegetación utilizada para recubrir taludes y terraplenes debe ser de rápido crecimiento para minimizar los efectos indirectos de los procesos de erosión.

d) Restos históricos o arqueológicos. Si durante la construcción se descubren restos de una civilización histórica o arqueológica, se deben suspender actividades de inmediato y temporalmente para que el contratante informe a las autoridades competentes.

e) Transporte durante las obras y movimiento de maquinarias. Es necesario evitar que las faenas contaminen debido a la suspensión de partículas de polvo tomando acciones tales

como regar el área afectada o colocar revestimientos asfálticos.

El contratista deberá tomar todas las precauciones necesarias para evitar el derrame de material durante el transporte. Además, el contratista debe evitar todo daño a caminos públicos y servicios de utilidad pública procurando que sus vehículos no excedan los pesos por eje máximos autorizados. También deberá evitar la compactación de suelos debido al tránsito innecesario de maquinaria.

Se debe hacer un mantenimiento estricto y periódico de toda la maquinaria utilizada en la construcción. Los residuos que se generan debido a este mantenimiento deben envasarse en recipientes adecuados y dispuestos adecuadamente.

f) Caminos de desvío. Sólo se podrá desviar el tránsito usual del camino hacia rutas alternativas cuando haya sido estipulado previamente en el proyecto o cuando sea autorizado por el contratante.

1) Precauciones durante la suspensión temporal de los trabajos. Antes de suspender temporalmente cualquier obra, el contratista debe asegurar la implementación de cualquier medida necesaria para evitar que la erosión afecte la obra y sus áreas marginales, durante el período de interrupción. Además, debe asegurarse que los rellenos estén adecuadamente compactados.

2) Acabado, aseo y presentación final de la obra. Al concluir la construcción, toda el área dentro del derecho de vía debe presentar un aspecto ordenado y limpio. Para esto, se deben retirar todos los escombros, chatarra, acopios y restos de materiales e instalaciones auxiliares. Los taludes y terraplenes deben seguir los perfiles diseñados indicados en el proyecto. Los fosos, contrafosos, canales y cunetas, dentro de la faja del camino, deberán despejarse de escombros, derrumbes y obstrucciones. Además, se deben limpiar todas las alcantarillas y demás obras de drenaje. Finalmente, se debe verificar que toda la señalización y defensas camineras se encuentren en buen estado, limpias y en posición adecuada.

2. Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgos y seguridad vial

a. Gestión ambiental. La gestión de riesgo es una herramienta que complementa las actividades que reducen los efectos o resultados de los desastres que afectan la infraestructura vial y sus diversos componentes.

b. Estudio de impacto ambiental: un instrumento para mitigar y reducir daños al ambiente. En la construcción de un proyecto vial es necesario elaborar un estudio de impacto ambiental (EIA), el cual es utilizado para la mitigación y reducción de daños al ambiente. Las disposiciones, lineamientos y medidas ambientales y sociales, buscan prevenir o mitigar efectos negativos en el ambiente. Esta herramienta debe incluirse dentro de los procesos de la Gestión del Riesgo.

c. Etapas generales de un estudio de impacto ambiental

1) Descripción del proyecto

- Localización física del proyecto y su relación con la infraestructura de servicios existentes (transporte, energía, saneamiento, salud, comunicaciones, etc.).
- Descripción detallada de las actividades a realizar incluyendo construcción, operación y abandono.
- Materias primas que se utilizarán.
- Mano de obra.
- Cronograma de construcción, operación y mantenimiento.

2) Descripción del medio ambiente (entorno). Esta etapa consiste en detallar el entorno en el que se estará trabajando prestando especial atención a los factores ambientales que se verán afectados.

Se debe considerar lo siguiente:

- El uso del suelo, su valor, división de la propiedad, capacidad de uso y aptitud, topografía, áreas protegidas y equipamiento e infraestructura básica.
- La descripción de la ubicación y abundancia de fauna y flora, y las características y representatividad de los ecosistemas.
- La descripción del medio físico. Además, el promotor del proyecto debe incluir una caracterización y análisis de la meteorología, geología, geomorfología, hidrogeología, edafología, niveles de ruido, presencia y niveles de vibraciones de campos electromagnéticos y de radiación, y calidad y deterioro del aire, agua, suelos y recursos naturales.
- La descripción y análisis de la población, incluyendo los índices demográficos, sociales, económicos, de mortalidad y morbilidad, de ocupación laboral y otros similares que aporten información relevante sobre la calidad de vida de las comunidades afectadas.

- La descripción de los sitios relativos a monumentos nacionales, áreas de singularidad paisajística, sitios de valor histórico-arqueológico, antropológico, paleontológico, religioso y cultural.

3) Identificación de impactos potenciales

a) Definición de impacto ambiental. En este manual, impacto ambiental es definido como: “cambio en un parámetro ambiental en un periodo de tiempo específico, dentro de un área definida, resultado de una actividad particular, comparado con la situación en la cual la acción no se hubiera realizado. En otras palabras el impacto es el producto de una interacción entre el proyecto y su entorno.”

b) Predicción e interpretación de los impactos. Se predice el comportamiento en el tiempo y el espacio según cada impacto.

c) Medidas de control ambiental. Son las medidas preventivas, de mitigación y/o de compensación utilizadas para controlar el impacto negativo en el ambiente que se pueden generar debido a un proyecto.

A continuación se presenta la **Tabla 56** sobre las diferentes medidas que se pueden emplear para mitigar un impacto:

Tabla 56: Medidas de mitigación de impactos ambientales

Medio	Impacto a mitigar	Medida a implementar
Suelo	Erosión	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar solo la vegetación que sea necesaria por el diseño del ensanche de la vía. • Proteger las pendientes mayores del 10%, que no se hayan podido suavizar, colocando disipadores de energía y trampas de retención. Además, colocar estructuras que faciliten la retención del suelo y eviten su arrastre hacia los drenajes (restos de materiales vegetales y piedras). • Colocar sacos, pacas u otros obstáculos que funjan como barreras temporales para evitar o disminuir la erosión de los suelos desnudos. • Cubrir con grama los taludes producidos por cortes y rellenos

Continuación de Tabla 56: Medidas de mitigación de impactos ambientales

Medio	Impacto a mitigar	Medida a implementar
Suelo	Erosión	Propensos a erosión, para atenuar los efectos de erosión del suelo y en donde las condiciones lo permitan, se puede arborizar con especies nativas de la zona.
	Contaminación por hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe contar con equipos para el manejo de derrame de sustancias contaminantes. • Durante la construcción del proyecto, almacenar las sustancias combustibles como hidrocarburos, aceites, grasas, etc. únicamente en las áreas de depósito designadas para el proyecto. • Realizar trabajos de mantenimiento o reparación en el taller que se estipula para la obra. • Debe utilizarse sólo los recipientes y tanques portátiles aprobados para el almacenamiento y manejo de líquidos combustibles e inflamables. • Capacitar al personal que se encargue de clasificar los residuos que deben ser tratados y eliminados.
Aire	Contaminación atmosférica por gases contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar las verificaciones recomendadas por los fabricantes, en los escapes de la maquinaria y equipo. • Apagar el motor de camiones, maquinaria y equipo pesado cuando no estén trabajando.
	Contaminación atmosférica por partículas en dispersión	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar riegos periódicos (durante la estación seca o días prolongados sin lluvia) para humedecer la superficie del suelo y evitar la generación de partículas de polvo, por lo menos, tres veces al día, con camiones cisternas. • Regular la velocidad de los vehículos que circulen por las áreas de construcción. • Cubrir con lonas el vagón de los camiones de volquete para evitar la dispersión de polvo y otros materiales de construcción que sean

Continuación de Tabla 56: Medidas de mitigación de impactos ambientales

Medio	Impacto a mitigar	Medida a implementar
Aire	Contaminación atmosférica por partículas en dispersión	<p>transportados.</p> <ul style="list-style-type: none"> Al realizar las actividades de limpieza se deben recoger inmediatamente todos los desperdicios que se transporten fácilmente por el aire y depositarlos en el vertedero municipal más cercano previa autorización.
	Aumento de ruidos	<ul style="list-style-type: none"> Mantener la maquinaria y el equipo pesado que se utilice en buen estado mecánico. Evitar mantener los motores de la maquinaria y el equipo pesado encendidos durante los períodos de descanso. Los horarios de trabajo en este proyecto se darán en función de lo que establece la normativa vigente. Dotar a los obreros de los implementos de seguridad para mitigar los efectos negativos por ruido (protector de oídos).
Agua	Contaminación por sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> Proteger con grama los taludes y áreas de servidumbre, arborización en áreas de uso público y aceras, con especies nativas como medidas de control de erosión. Evitar arrojar suelos o material de relleno en los ríos o drenajes pluviales durante construcción de puentes. Considerar en los diseños para los puentes vehiculares las medidas de retención de sedimentos en los taludes (zampeados, muros). Construir infraestructuras de control de erosión (zampeados, disipadores de velocidad del agua).
Flora	Pérdida y afectación de la vegetación	<ul style="list-style-type: none"> Las especies de árboles de interés comercial y que presenten condiciones de uso, deberán ser aprovechadas por el contratista en la obra. La tala deberá contar con la aprobación del ministerio de ambiente y el ministerio de transporte.

Continuación de Tabla 56: Medidas de mitigación de impactos ambientales

Medio	Impacto a mitigar	Medida a implementar
Flora	Pérdida y afectación de la vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • Compensar la tala con la siembra de árboles ornamentales de medio porte en sitios específicos dentro del área de alineamiento del vía. • Elaborar un plan de arborización.
Social	Generación de desechos	<ul style="list-style-type: none"> • [...] minimizar entre los trabajadores del proyecto la producción de residuos sólidos. • Dotar de tanques de 55 galones para la recolección de los residuos sólidos. • Disposición regular de los residuos sólidos en el vertedero municipal, por lo menos dos veces por semana. • Ubicar los sitios de botadero a una distancia mínima de 200 m de cursos de agua. • Contratar a una empresa especializada en servicios de suministro de letrinas portátiles, la cual deberá cumplir con los requisitos ambientales y sanitarios que exige la legislación para el tratamiento de este tipo de desecho. • Se deberá colocar un número adecuado de letrinas portátiles en los diferentes frentes de trabajo de la construcción. • Se debe realizar el mantenimiento de estas unidades y recoger los desperdicios sanitarios por lo menos dos veces a la semana. • En todo momento se debe estar pendiente para que los trabajadores utilicen adecuadamente las letrinas portátiles y que no hagan sus necesidades fisiológicas en la intemperie. • La disposición final de árboles talados, ramas y partes no aprovechables deberán ser trasladados al vertedero municipal más cercano.
	Molestias al tráfico vehicular	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de no existir otra alternativa de circulación expedita y segura por la vía existente, se deberá realizar el desvío del tráfico hacia calles alternas. Para poner en práctica esta actividad, el

Continuación de Tabla 56: Medidas de mitigación de impactos ambientales

Medio	Impacto a mitigar	Medida a implementar
Social	Molestias al tráfico vehicular	<p>contratista deberá someter, previamente esta alternativa al ministerio de transportes, para que esta sea aprobada y posteriormente realizar la publicación de la nueva ruta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar una señalización adecuada, que informe y alerte a los conductores acerca de las diferentes actividades. Esta señalización debe colocarse desde los doscientos metros de distancia en ambos sentidos de la vía. • Previo al inicio de las actividades, el contratista debe presentar a la autoridad de tránsito, con copia al ministerio de transporte, un plan de control de tráfico, el cual debe ejecutarse durante la realización del proyecto. • Para cierres temporales y desvíos de corta duración se deberá colocar letreros de precaución que anuncien el cierre y colocar obreros, debidamente equipados (bandera y chaleco reflectivo) para orientar al tráfico. • Como elemento de soporte, se deberá coordinar con la autoridad de tránsito y de la Policía Nacional para la contratación de unidades policiales, cuando tal medida se considere necesaria. • Todas las señalizaciones de desvíos colocadas deberán tener textos visibles, para garantizar la lectura e interpretación correcta de los conductores, de acuerdo con las especificaciones del ministerio de transportes.
	Modificación del paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño del proyecto debe contemplar la armonía con el paisaje. • Los acabados de los taludes de relleno deben ser revegetados • Las zonas de botaderos y los centros de operación deben integrarse al paisaje, mediante la arborización u ornamentación de estas áreas. • Rellenar huecos, zanjas, hoyos, etc. causados por la construcción.

(SIECA, 2010: 60)

4) **Programa de monitoreo ambiental.** Éste es un programa en el que se establecen el seguimiento, vigilancia y control ambiental del proyecto. Además, se asignan las responsabilidades que aseguran el correcto cumplimiento de cada uno de los compromisos adquiridos en el programa. Es necesario establecer indicadores para evaluar los efectos reales.

3. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. En la construcción de una carretera es importante la identificación de los impactos ambientales que el proyecto pueda tener y tomar las medidas necesarias para evitar y mitigar estos efectos. En la mayoría de los países, las legislaciones nacionales incluyen las disposiciones necesarias para que esto se lleve a cabo. El diseño geométrico de una carretera, por muy sofisticado que sea, debe incluir en su análisis y diseño una consideración de los efectos ambientales en el medio natural y social, ya que una carretera trae consigo un impacto en las comunidades y en el ambiente.

La construcción de una carretera tiende a promover el desarrollo económico y mejorar la comunicación entre distintos puntos. Sin embargo, además de los aspectos positivos debido a la construcción de una carretera también se debe considerar que se presenta una alteración en las comunidades aldeanas a la carretera, contaminación por ruido, accidentes viales, erosión del suelo, cambios en las corrientes de agua, modificaciones en fauna y flora, entre otras. Es por esto, que en proyectos de construcción vial se deben considerar estos potenciales cambios para buscar un balance entre el ambiente existe y el que se planea construir.

Por estas razones, se debe contemplar un desarrollo sostenible de una carretera, considerando tanto sus aspectos positivos como los negativos (sobre el ambiente, específicamente). Para lograr esto se debe identificar los impactos sobre el ambiente (natural y social), cuantificar y medir estos impactos, y finalmente, se debe recurrir a las medidas necesarias para evitar y mitigar estos efectos negativos.

Para lograr una evaluación ambiental exitosa, ésta no debe realizarse única y exclusivamente en el período de diseño, sino que debe ser considerada durante todo el proceso de construcción. De esta forma, se logra una continua revisión de los resultados del proyecto permitiendo tomar las acciones que se crean convenientes en caso que se den cambios inesperados durante la construcción. Se debe considerar que el costo de un estudio de impacto ambiental es entre el 5% y 10% del costo de preparación del proyecto. Un estudio un poco más limitado, en el cual se analizan los impactos de la construcción, se conoce como un plan de mitigación o plan de manejo ambiental.

a. Acondicionamiento frente al ruido

1) **Consideraciones generales.** El tránsito vehicular por una vía es la principal fuente de contaminación por ruido y para muchos, es parte de la vida cotidiana. Algunas de las molestias debido a la contaminación por ruido son la constante interferencia con actividades en espacios exteriores, tales como plazas, jardines, parques, balcones, entre otros, o en espacios interiores, tales como la dificultad e interrupción en conversaciones, reposo, sueño, entre otros. Estas continuas perturbaciones pueden llegar a un desbalance en el sistema auditivo, en el equilibrio psíquico, entre otros. Aunque se puede pensar que las molestias por ruido principalmente afectan áreas residenciales, estas también se dan en zonas cercanas como hospitales y centros educativos.

Parte del ruido proveniente de un vehículo automóvil se origina en el grupo motor, el cual incluye el motor, el escape, la transmisión y la ventilación. Sin embargo, el ruido también se da debido al roce por la fricción entre las llantas y la carpeta asfáltica, y a la turbulencia de aire debido al movimiento del vehículo. Es por esto que el ruido total depende del volumen, velocidad, pendiente, tipo de vehículos, entre otros.

b. Criterios para la puesta en práctica de medidas frente al ruido

1) **Medidas en la etapa de planificación.** Las medidas para reducir el ruido que se puedan tomar en la etapa de planificación y diseño son las más eficaces y menos costosas. Prever la localización y trazado de las vías rápidas futuras considerando preservar ciertas zonas del ruido es la mejor práctica para reducir la contaminación por ruido.

Uno de los problemas a los que se enfrenta una planificación anti-ruido es la falta de espacio disponible en las grandes ciudades urbanas haciendo técnica y económicamente difícil alejar demasiado las vías de tránsito de los focos de las ciudades.

2) **Medidas en la etapa de elaboración del proyecto.** En la etapa de elaboración para reducir el impacto debido al ruido se puede modificar lo siguiente:

- El perfil longitudinal y el trazado para reducir la producción y la transmisión del ruido.
- Las características geométricas y de diseño de la carretera para producir y controlar la velocidad.
- Diseño de elementos específicos para limitar la transmisión del ruido de la circulación.
- Uso de pavimentos especiales.

3) El perfil y el trazado. El perfil y trazado pueden influenciar el nivel del ruido. Esto es posible, entre otras formas, con una rasante en la que se crean obstáculos físicos. La forma de obstaculizar la transmisión del ruido consiste básicamente en la utilización de rasantes inferiores o superiores a la del terreno natural de los bordes.

La utilización de una rasante inferior, es decir, la construcción en trinchera, provee a la carretera de dos taludes longitudinales transmitiendo el sonido eficientemente al crear amplias zonas de sombra en sus inmediaciones. La construcción deprimida o en trinchera tiene además la ventaja suplementaria de facilitar la construcción de intercambios cuando se trata de vías de mucho tránsito y de reducir, simultáneamente, el impacto visual de la carretera, cuyos taludes pueden ser, por otra parte, objeto de tratamientos paisajísticos.

Sin embargo, se debe mencionar que la construcción de una carretera a media trinchera o semi-enterrada tiende a requerir una mayor ocupación de suelo, que depende del tipo de terreno, y además incurre en un costo adicional y puede no corresponder e incluso oponerse a la optimización del perfil longitudinal. Por esta dificultad, esta solución suele ser difícilmente aplicable en áreas urbanas en donde no hay grandes extensiones de terreno disponible. Sin embargo, es una solución adecuada para áreas rurales con densidades de población bajas.

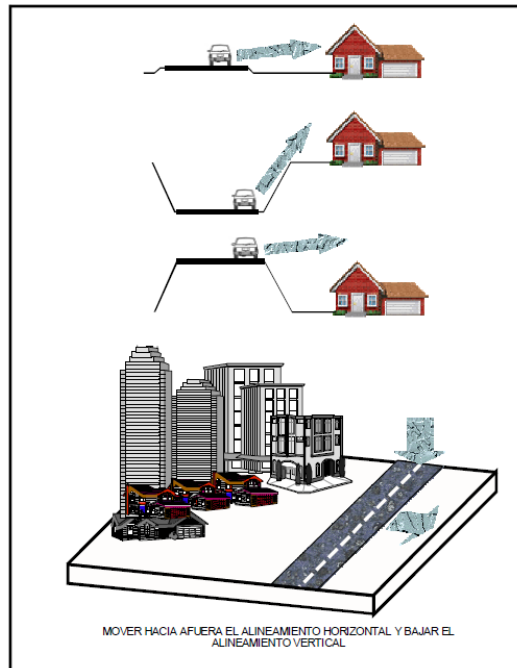
En áreas con una densidad de población y con menos espacio disponible se puede recomendar el ocultamiento total de la vía, lo cual implica que la construcción vial se haga en un túnel. Sin embargo, esta solución obviamente incurre en un elevado costo y en dificultades de conexión con otras carreteras o calles, lo cual limita la conexión entre calles siendo una solución poco factible en zonas centrales o muy urbanizadas. Al plantearse una solución de este tipo, generalmente se da una remodelación urbana integrada.

Otra posible solución es la construcción elevada de ciertos tramos de la carretera haciendo que se obstaculice el sonido hacia abajo. Esta solución resulta adecuada en áreas con construcciones de baja altura. En construcciones de cierta altura, carreteras elevadas deberían acompañarse de cierres verticales o pantallas que impiden la propagación horizontal del ruido. La construcción elevada tiene como inconvenientes su impacto visual y su elevado costo.

Tanto la construcción en trinchera, como la elevación de la rasante tiene los mismos problemas de ocupación de suelo cuando se hace mediante terraplenado, pero puede ser más económica y requerir mucha menor ocupación del suelo cuando se hace mediante estructuras, forma en la que puede ser compatible con medios muy urbanizados.

Otra posible solución para reducir el ruido es la reducción de la pendiente en las rampas, ya que es en las subidas cuando los vehículos, en especial los más pesados, producen más ruido. Reducir las pendientes de las rampas puede presentar ciertas dificultades en su aplicación en áreas urbanas densas y topográficamente accidentadas, ya que el diseño puede no convenir según el terreno.

Ilustración 54: Adaptación de los alineamientos vertical y horizontal para reducir efectos de ruido



(SIECA, 2004a: 1-10)

d. Reducción de la velocidad a través del proyecto. El ruido debido al tránsito puede aumentar al elevarse la velocidad; se puede considerar el aumento del ruido producido por las llantas proporcional a la velocidad. De esta forma, al aumentarse la velocidad de un vehículo, también aumentará el ruido que el mismo produce. Este ruido puede llegar a alcanzar niveles de 80 dBA a velocidades cercanas a 100 kilómetros por hora.

Reducir la velocidad no es siempre fácil de conseguir, pero si se logra, esto incide de forma aparente en las crestas de ruido y por lo tanto se percibe una mejora casi inmediata. Formas alternas de reducción de velocidad resulta entonces conveniente ya que las limitaciones de velocidad no son siempre eficaces, por lo que es más fácil hacer que las propias características geométricas de la carretera sean las que obliguen

disminuir la velocidad.

Esta reducción de velocidad puede conseguirse a través de limitaciones en la longitud de los tramos rectos, la utilización de radios de giro adecuados (muchas veces diseñando curvas innecesarias), intersecciones que impliquen una disminución de la velocidad (rotondas) y la reducción de la anchura de los carriles de circulación.

Usualmente, la reducción de la velocidad vehicular no implica costos adicionales en la construcción de las carreteras, sino conlleva a reducciones de costos ya que permite parámetros geométricos más adaptables al terreno natural.

Es importante, sin embargo, reducir la velocidad para disminuir el ruido solamente hasta cierto límite. Esto se debe a que una reducción extrema de velocidad (menor a 60 kilómetros por hora) hace que el ruido del motor sea mayor y puede llegar a valores más altos si se imponen marchas cortas, en especial en vehículos pesados. La reducción de velocidad también puede generar excesivos frenados, arranques y aceleraciones, las cuales son de los mayores generadores de ruido de un vehículo.

e. Diseño de elementos específicos. Es posible la construcción de elementos específicos que limiten la transmisión del ruido y que pueden realizarse asociados a la carretera. Este tipo de elementos, son más fácilmente construidos si son contemplados desde el diseño propio del proyecto para evitar problemas de localización y construcción que se presentarían posteriormente. El propósito de este tipo de elementos es funcionar como barreras acústicas. Los elementos más frecuentemente utilizados son los diques de tierra y las pantallas sónicas.

Estas dos soluciones consiguen reducir el ruido entre 10 y 20 dBA, son muy adecuadas para la protección de áreas de baja densidad y tienen la ventaja de proteger los edificios y sus anexos exteriores, específicamente los jardines. El costo de estos elementos comparados con el de la infraestructura suele ser entre un 5% y 20%.

Los diques de tierra son dos terraplenes longitudinales de altura variable, que acumulan tierra longitudinalmente en los bordes de la carretera y tienen taludes de inclinación que dependen del material con el que se construyen. Los taludes interiores reflejan las ondas sonoras y las desvían hacia arriba quebrando el camino del ruido entre los vehículos y el receptor.

Se debe tener especial cuidado en cuanto a la localización y construcción de los diques, ya que

acústicamente es conveniente situarlos lo más cerca posible a la calzada y con un talud lo más vertical posible, pero desde el punto de vista de la circulación se deben construir con pendientes que no tiendan a deslaves y erosión que aumenten el peligro de la carretera.

Es necesario que los diques de tierra tengan una altura superior a los 2 metros. Si se pretende proteger edificios altos, su altura debe aumentarse hasta 4 ó 5 metros. Los diques de tierra tienen un elevado costo, a menos que se utilice la misma tierra removida durante las excavaciones y tienen el inconveniente en que ocupan un gran espacio de suelo. Es por esto que los diques son más adecuados para carreteras que tienen amplios derechos de vía y suelos de reserva.

El espacio de suelo a ocuparse puede reducirse sustituyendo una parte del dique, en general el talud interior, por muros de tierra armada o concreto de diversas formas (escalonada, por ejemplo) en los que se mantienen orificios o espacios diseñados para la siembra de plantas.

Las pantallas sónicas son elementos verticales o muros que se construyen longitudinalmente a la carretera y funcionan como obstáculos a la transmisión del ruido. Dependiendo del tipo de material de la pantalla, esta puede absorber y/o reflejar el ruido. La reducción de ruido que pueda tener una barrera depende de ciertas características tales como la ubicación, altura (entre 2 y 6 metros, preferiblemente 2.5 metros), espesor y tipo de material (madera, concreto, ladrillo o poliéster). El espesor depende del tipo de material estableciendo una densidad volumétrica mínima de 10 kilogramos por metro cuadrado.

El objetivo de una pantalla es reducir el ruido unos 10dBA, aunque en algunos casos es justificable 5 dBA, o también se puede decir que una pantalla está cumpliendo su función si el ruido que se transmite a través de ella se reduce en 20 dBA. Por esto, resulta importante que durante la construcción de las pantallas no queden agujeros o poros, ya que estos permitirían el paso del sonido.

Para instalar una pantalla es necesario realizar tres estudios. El primero es un estudio acústico para definir su localización, altura, longitud, absorbencia del material, inclinación, etc. También, es necesario realizar un estudio de ingeniería civil sobre estabilidad, resistencia, seguridad y materiales. Finalmente, se debe hacer un estudio de tratamiento estético-paisajístico.

Las pantallas ocupan menos espacio que los diques, pero son menos atractivas a la vista por lo que frecuentemente se prefieren los diques. Además, cabe agregar que los diques de tierra tienen un costo menor que las pantallas si se cuenta con la tierra en el sitio y el espacio necesario, pero tienen aproximadamente el mismo costo si se debe incurrir a transporte de tierra, y pueden llegar a ser entre tres y

cinco veces más costosos si se debe adquirir un derecho de vía adicional.

a. Utilización de pavimentos especiales. El tipo de pavimento que se utiliza en una carretera es un factor que condiciona el ruido de la circulación, en especial a velocidades altas, y por lo tanto, la correcta selección de un determinado tipo de pavimentos influye en la intensidad del ruido producido. El ruido debido a la fricción entre las llantas y el pavimento depende principalmente del material empleado y su textura.

El tipo de pavimento más ruidoso es el articulado, el cual es un pavimento que utiliza adoquín en su última capa. Comparado a un pavimento asfáltico típico, un adoquín aumenta en más de 6 dBA el ruido y 2 dBA comparado al concreto liso.

4. Manual centroamericano para diseño de pavimentos

a. Rehabilitación de pavimentos existentes. La rehabilitación de un pavimento existente consiste en restaurar la condición original de soporte de la estructura de pavimento. Los materiales de los pavimentos existentes pasan a formar parte de la nueva estructura.

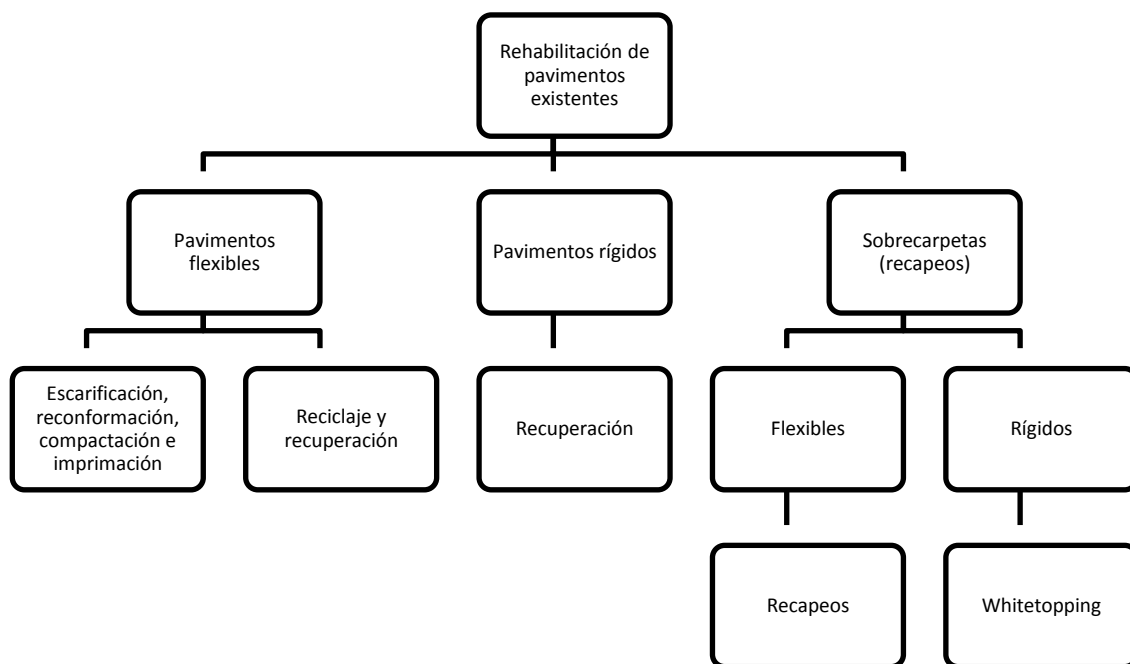
1) Pavimentos flexibles: reciclaje y recuperación. Se pulveriza la superficie bituminosa del lugar, la base granular o las dos capas en conjunto para llegar a la profundidad a la que llegan estos espesores. Luego, se inyecta o mezcla un ligante y/o agua con el material pulverizados para homogeneizarlo, conformarlo y compactarlo. Esta mezcla se usa como base de la estructura.

Al empezar el reciclaje y recuperación, el ligante debe aplicarse al material pulverizado, según porcentajes determinados en el laboratorio y en cantidades determinadas en la etapa de diseño. Todo el material debe pasar por el tamiz de 2”.

El material reciclado y recuperado se debe compactar en el laboratorio, según la norma AASHTO T-245. Además, se debe realizar la prueba AASHTO T-254 para los cálculos del porcentaje relativo de compactación en cada densidad de campo tomada.

Luego de compactarse el material reciclado y recuperado, se debe aplicar un sello de emulsión entre 0.11 a 0.45 L/m² a la superficie y no se debe transitar sobre esta superficie luego de 24 horas de aplicado el sello de emulsión.

Ilustración 55: Tipos de rehabilitaciones



(SIECA, 2002a: 8-1)

El reciclaje y recuperación se realiza únicamente si el estado de deterioro de la carretera es bastante avanzado, lo cual implica grietas, ahuellamiento, pérdida de finos, desprendimiento de la capa de rodadura, deformaciones, hundimientos, baches severos en la base y una falla estructural. Esto implica que el IRI tendrá un valor mayor a seis y un índice de serviciabilidad significativamente menor a 2.

Se utilizan productos estabilizadores y se incrementa el espesor de la capa de base para mejorar el IRI, el índice de serviciabilidad e incrementar la vida útil de la carretera.

a) Requerimiento de los materiales. El material debe cumplir con las normas AASHTO T-93, T-180, T-96, T-146, T-176, T-11 y T-27. Los materiales deben ser una base estabilizada, lo cual implica ser una capa formada por una combinación de piedra o grava trituradas, material de relleno y materiales estabilizadores. Con esto se asegura mejorar las condiciones de

estabilidad y resistencia para lograr distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito de la base a la subbase.

El ligante utilizado debe ser una emulsión asfáltica que cumpla con los requerimientos de CSS-1.

La mezcla asfáltica reciclada y recuperada en frío debe tener una granulometría que se determina en el laboratorio según los ensayos del material existentes en sitio con el de aporte.

Se debe dimensionar y graduar el material de aporte y combinarlo en forma homogénea con los productos estabilizadores y con el material reciclado y recuperado.

El agua debe cumplir la norma AASHTO T-26, a menos que la fuente de agua sea potable; en tal caso, no se necesita realizar un ensayo.

5. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras

a. Normas ambientales para la etapa de planificación. Antes de iniciar el diseño, se deben planear todas las actividades que se ejecutarán para tomar las medidas técnicas necesarias. Esto considera que dentro del análisis de la selección de la ruta se deberán considerar criterios ambientales tales como:

- Efectuar el mínimo movimiento posible de tierra.
- Atravesar la menor cantidad posible de cursos de agua (permanentes o temporales).
- Utilizar suelos estables y con buena permeabilidad para minimizar problemas ocasionados por las aguas subterráneas en sitios con niveles freáticos poco profundos.
- Identificar los sitios más apropiados para la instalación de las estructuras temporales requeridas por el contratista.

1) Normas ambientales generales

- El contratista deberá cumplir con la normativa nacional vigente.
- Se deberá utilizar la red de drenaje para identificar las zonas inundables susceptibles a daños por escorrentía superficial.
- Se deberá investigar si existen centros turísticos, cavernas, paseos ecológicos, áreas protegidas, tomas de agua, zonas de recarga acuífera u otras zonas de interés académico, cultural y/o científico para así tener la señalización adecuada.
- El estudio de impacto ambiental deberá evaluar lo siguiente:
 - Asentamientos humanos
 - Patrimonio cultural e histórico
 - Biodiversidad y recursos naturales

- Áreas protegidas
- Contaminación por ruido
- Valor estético del paisaje y su conservación
- Efectos sobre bosques, vegetación y otros ecosistemas
- Contaminación de recursos naturales como agua, aire y suelo
- Posibilidad de incendios, plagas y enfermedades debido a la construcción
- Vulnerabilidad a desastres naturales
- Impactos de materiales, equipos, maquinaria y construcción
- Impactos de la explotación de canteras y cauces
- Impactos de la instalación y operación de plantas de asfalto, concreto, trituración, entre otras
- Disposición de residuos al finalizar la obra
- En el estudio de factibilidad del proyecto se deben incluir los costos para mitigar y reducir los impactos ambientales directos o indirectos identificados en el EIA.
- A los trabajadores de la obra se les deben proporcionar las capacitaciones adecuadas sobre medidas ambientales e higiene.

2) Normas ambientales específicas sobre el manejo de recursos naturales

- La capa vegetal o biológica que se encuentra en la parte superior del suelo debe ser protegida y almacenada en áreas previamente seleccionadas.
- Se debe garantizar el abastecimiento de agua potable a la población de los campamentos. Preferiblemente se deben utilizar fuentes subterráneas por medio de la excavación de pozos tratados.
- Si la utilización de diferentes áreas o recursos pueda afectar negativamente a humedales no se podrá aprobar dichas áreas para esos usos.
- Si el corredor vial atraviesa zonas boscosas se deben cumplir las regulaciones de las autoridades ambientales, municipales y cualquier otra que tenga jurisdicción sobre las mismas.
- Se deberán proveer alternativas de consumo energético para reducir el uso de leña o madera para prevenir incendios.
- La caza y pesca son prohibidas en todas las áreas de influencia, las cuales deberán establecerse claramente en el EIA.
- No se podrán usar áreas en las que se demuestre la presencia de especies de flora y fauna amenazadas, endémicas o en peligro de extinción.
- Se deben evitar rutas con pendientes muy fuertes o prolongadas.

b. Normas ambientales para la etapa de diseño. El contratante debe cerciorarse que los planos de construcción y el presupuesto se adapten a las modificaciones debidas al EIA.

1) Normas ambientales generales

- Deberá inspeccionarse el sitio de la obra propuesta.
- Deberá realizarse una evaluación y síntesis de los impactos o alteraciones sobre el ambiente humano y social.
- Deberá contemplarse un programa de manejo ambiental (PAMA), en el cual se indiquen cómo y cuándo se pondrán en práctica las medidas ambientales para mitigar impactos de riesgos y desastres. Este programa deberá elaborarse por el contratante.
- Deberán identificarse las zonas potenciales a deslizamientos por desestabilización de taludes, luego de realizar el levantamiento topográfico.
- Deberán ubicarse los bancos de préstamo y su estrategia de explotación.
- Deberá establecerse la capacidad volumétrica de cada sitio de botadero de material considerando que:
 - Los sitios no se encuentren en humedales, fuentes de agua u otras zonas que causen problemas aguas abajo.
 - No se afecten sitios de interés académico y científico.
 - Los permisos con propietarios de terrenos deberán obtenerse para evitar conflictos de uso.
- Deberá coordinarse con las autoridades municipales el manejo de material pétreo de desperdicio en los basureros municipales locales para evitar malos olores y aumento de vectores infecciosos.
- Deberán registrarse las condiciones generales de erosión en las cuencas de influencia.
- Deberán analizarse los recursos hídricos, suelos y bosques a nivel de cuenca tomando en cuenta la cantidad, calidad y distribución de recursos.

2) Normas específicas sobre manejo de recursos naturales

- En zonas con poca inclinación es importante conservar la capa de suelo fértil mediante la utilización de refuerzos laterales.
- Las principales obras que se deben construir para evitar daños a aguas subterráneas son drenes horizontales, filtros longitudinales y trincheras estabilizadoras ya que le agua subterránea produce un aumento del peso de la masa deslizante, un incremento de la presión hidrostática en las grietas y un incremento de la presión de poros, lo cual disminuye la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.
- Se deben evitar trabajos en zonas donde existe una capa freática debajo de la obra. Si no se puede evitar, se deben recoger las aguas de escorrentía, tratarlas y verterlas nuevamente en la zona de recarga.
- En áreas de humedales es necesario construir varios desagües para evitar erosión y permitir la libre circulación de las aguas.
- En áreas vulnerables a tormentas eléctricas es necesaria la instalación de pararrayos en los campamentos. Además, se deben mantener extintores y un equipo entrenado y equipado para apagar incendios.

- Se deben construir pasos para poblaciones de especies animales migratorias en donde la construcción de la carretera obstruya el desplazamiento de las mismas. Estas estructuras pueden ser de concreto, metal o cualquier otro material previamente establecido por el EIA.
- Se deben usar especies de plantas propias a las ecozonas para la reforestación de las áreas adyacentes a la vía, ya que las especies locales facilitan la mejora del hábitat de los animales silvestres y su migración.
- Se debe asegurar que todos los aspectos técnicos-ambientales del EIA relacionados con corredores biológicos y áreas protegidas se incluyan en la etapa de diseño.

c. Normas ambientales para la etapa de construcción. Las normas ambientales se deben aplicar a todas las etapas de la construcción, las cuales son las siguientes:

1) Implementación

- En el momento en que una empresa constructora lleva a cabo una licitación, se debe inspeccionar el sitio de la obra propuesta, estudiar sus características y cómo se relaciona el entorno natural con la construcción.
- El contratista es el responsable de la implementación de todas las medidas incluidas en el PAMA.
- Los campamentos deben localizarse fuera de las áreas pobladas a una distancia mínima de 500 m de las mismas. También se debe tener un plano topográfico para tomar las medidas ambientales contra erosión, ruido, emanaciones de polvo, disposiciones de basura, malos olores entre otros.
- Para mitigar ruidos, vibraciones, emanación de gases y polvo, los dormitorios y comedores del campamento deben localizarse a mínimo 50 m de distancia de los talleres de servicio y de la estación de combustibles.
- Se deben rodear los campamentos perimetralmente con una faja de 10 m de ancho para que sirva de brecha contra incendios.
- La remoción de vegetación no debe hacerse con fuegos o quemas controladas en el sitio.
- Para la deforestación del área del campamento es necesario contar con un permiso previo y reforestar una vez terminadas las obras.
- Los árboles talados deberán utilizarse en la instalación de las cercas vivas si cumplen con las condiciones bióticas necesarias. En caso de que no cumplan con dichas condiciones, se debe buscar otros usos que no sea quemarlos.
- Todo el personal involucrado en la obra no puede cazar en el área de influencia del proyecto.

2) Supervisión ambiental. Toda obra vial debe contar con un supervisor ambiental que vele por el cumplimiento de la implementación del PAMA según el EIA.

Las atribuciones de la supervisión ambiental son:

- Asegurar que se sigan las especificaciones del PAMA.
- Controlar que el personal de la obra que esté expuesto a ruido arriba de 80dB cuente con dispositivos de protección personal.
- Vigilar que no se operen máquinas que emitan ruido sobre los 80 dB entre 6:00PM y 7:00AM excepto en emergencias o si se cuenta con una autorización específica de la autoridad competente.
- Verificar que las máquinas estén provistas con asientos con amortiguadores, y lo operadores de los mismos cuenten con el equipo de protección adecuado.
- Velar por que el contratista provea todo el equipo de protección al personal.
- Verificar que el contratista sólo altere las áreas previamente estipuladas.
- Exigir al contratista señalización preventiva.
- Asegurar que los taludes tengan las pendientes indicadas en los planos.
- Coordinar los casos de cambio de sitios de explotación, la realización de pruebas de laboratorios, y el correcto uso de vertederos.
- Exigir que en los casos especiales, se cuente con el diseño para montar y operar una planta de tratamiento de aguas residenciales para mantener un DBO adecuada, disminuir los sólidos en suspensión, reducir organismos patógenos y compuestos de nitrógeno y fósforo.
- Prohibir el uso, tránsito o estacionamiento de equipo móvil en lechos quebrados o ríos, a menos que sea la única opción.

3) Construcción y operación de campamentos

- Deberán controlarse las emisiones de motores para reducir la contaminación al aire.
- Es necesario regar agua u otro producto aprobado para evitar suspensión de partículas.
- Los ruidos y vibraciones deben reducirse en lo posible.
- En el contrato se debe definir la responsabilidad de reportar y limpiar derrames de gasolina, aceite, diesel y/o sustancias tóxicas.
- No se deben afectar los suelos fuera de la superficie de vía en la aplicación de riesgos asfálticos, de liga o estabilizadores.
- Se debe evitar la contaminación de arroyos, suministros de irrigación, humedales, embalses de agua y corrientes vivas.
- Es necesario considerar la incorporación de estructuras provisionales de canalización y contención de sedimentos.
- El material orgánico de desecho debe ser apilado en sitios lejos de los cursos de agua para depositarse en el botadero adecuado más cercano.
- Durante la pavimentación se debe tomar especial consideración en el control de polvo por medio de riego y la correcta disposición temporal de los materiales utilizados en cada capa del pavimento.
- Las plantas de concreto asfáltico e hidráulico y canteras deben estar localizadas a por lo menos 200 m de áreas residenciales, comerciales o recreativas.
- Se recomienda que el máximo nivel detectable a 50 m de las instalaciones que generan ruido no exceda de 70 dBA entre las 7:00AM y 6:00PM.

- Los sistemas de recolección de polvo en las fuentes de extracción deberán basarse en la trituración en húmido del material rocoso.
- El abastecimiento de combustible y las operaciones de mantenimiento deben realizarse únicamente dentro de las zonas y talleres inicialmente dispuestos para evitar la conminación de suelos y aguas.
- Se deberá contar con un programa de mantenimiento de equipo y maquinaria.
- Todo tanque o depósito fijo de combustibles o lubricantes debe contener una fosa impermeable para que en caso de derrames pueda almacenar por lo menos la mitad de la capacidad del tanque.
- Se debe evitar al máximo la alteración del terreno, lo cual incluye cortes y remoción de vegetación.
- Debe trasplantarse, en la medida de lo posible, el material vegetal retirado.
- No es permitido, bajo ninguna circunstancia, verter aguas negras a los cuerpos de agua cercanos. Se debe construir un sistema adecuado para el tratamiento de dichas aguas y disponer de residuos líquidos y sólidos, según lo establecido en los códigos de salud.
- Se deben disponer estratégicamente barriles para depósito de basuras.
- Se deben instalar en las zonas de lavado de maquinaria sistemas de desarenadores y trampas de grasas alejados de cuerpos de agua. Los residuos provenientes de estas operaciones se deben depositar en lugares previamente aprobados.
- Para la conformación de las capas de base y subbase se deberán cubrir los montículos de material almacenados con lonas impermeables para evitar el arrastre de residuos a cuerpos de agua o emisiones de polvo.
- Se deberán construir pasos de por lo menos 2 m de alto y 4 m de ancho para disminuir la fragmentación de poblaciones de animales.
- El contratista debe garantizar atención médica y laboral a los trabajadores.
- Antes de finalizar las faenas de construcción, las áreas de campamento deben limpiarse, retirarse las estructuras y reforestar las áreas que fueron ocupadas para los campamentos.

4) Apertura y adecuación de carreteras. Desmonte se refiere a la desaparición total de la cobertura vegetal que se encuentra en la zona de calzadas, bermas y cortes proyectados para la conformación de la estructura vial. El desmonte trae uno de los impactos más negativos sobre los ecosistemas existentes ya que se da pérdida de la cobertura vegetal, pérdida del sotobosque, pérdida del suelo, aumento de la escorrentía superficial, invasión de nuevas especies ajenas al ecosistema original, pérdida de la biodiversidad biológica, pérdida del paisaje natural, obstrucción del drenaje natural y obstrucción de las vías migratorias.

El manejo de la apertura y adecuación de accesos se debe realizar siguiendo las siguientes normas:

- El desmonte se debe realizar en tramos ambientalmente vulnerables y debe ser supervisado por un especialista. Los árboles endémicos, amenazados, en peligro de extinción, de valor genético, histórico y/o paisajístico situados dentro de los límites o cerca al derecho de vía no serán removidos sino que deben ser protegidos.
- Los árboles con un alto valor genético, histórico o cultural que pueden ser removidos pueden ser

trasladados con las técnicas y maquinaria adecuada asegurando la supervivencia de los mismos.

- Los árboles que forzosamente deben ser removidos deben desarmarse y tumbarse de forma tal que no dañen la vegetación, estructuras, líneas de transmisión u otras propiedades adyacentes.
- Para evitar daños a los suelos y a la vegetación cercana, la tala preferiblemente debe ser manual con motosierra y no con bulldozer.
- La tala y roza producen un impacto negativo irreversible por lo que se debe planear estrictamente cómo se aprovechará la vegetación presente del corredor sin sobrepasar el derecho de vía. Además, se debe limitar el área que será sometida a tala o roza con un levantamiento topográfico para evitar daños innecesarios.
- La caída de los árboles debe realizarse en dirección a la brecha ya despejada para no dañar árboles adyacente o destruir especies circundantes. En condiciones desfavorables, la caída se debe orientar con cables.
- Los desechos vegetales deben disponerse adecuadamente seleccionando adecuadamente el material vegetal y el almacenamiento de madera que debe ser apilada temporalmente a lo largo del corredor.

5) Plantas trituradoras de producción de concreto asfáltico e hidráulico.

Las plantas trituradoras son fuentes de contaminación al aire debido a la emisión de partículas finas provenientes del proceso de triturado, transporte y almacenamiento de material. Además, son un foco de contaminación por ruido. La operación de estas plantas también puede afectar cuerpos de agua con el lavado del material pétreo en su proceso de triturado y el lavado de las plantas de concreto.

Para la protección atmosférica, la legislación establece los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles. También establece las directrices y competencias para la fijación de nuevas normas de calidad de aire, niveles de emisión, descarga de contaminantes a la atmósfera, emisión de ruido, emisión de olores ofensivos, permisos y medidas de control.

- Para ubicar de la mejor manera la planta se debe considerar: la dirección de los vientos, proximidad con las fuentes de materiales y barreras naturales. Además, debe ubicarse en un sitio preferiblemente plano, desprovisto de cobertura vegetal y fácil acceso una distancia prudente para evitar afectar viviendas cercanas.
- Los promontorios por acumulación de material de descapote se deben cubrir con césped para preservar el paisaje, seguridad, aislamiento y para recuperar el suelo.
- Los lodos de material pétreo del fondo de las lagunas deben evacuarse periódicamente hacia zonas de secado y posteriormente debe reutilizarse en la fabricación de la mezcla o evacuarse hacia las zonas de disposición de material sobrante aprobados por la supervisión.
- La instalación de las plantas de concreto asfáltico e hidráulico se deben hacer preferiblemente en el mismo lugar que la planta de trituración para compartir las mismas obras perimetrales.
- Se deben controlar las emisiones de la planta de concreto con silos de cemento, los cuales son alimentados por bombas neumáticas desde los camiones hasta los silos. Además, se deberá realizar

la instalación de filtros sobre los silos con una capacidad superior al de las bombas. En la tolva báscula y el cargue de vehículos, el control también se debe efectuar por medio de filtros que puedan manejar un caudal adecuado. Es importante que el control esté acompañado de un sistema de captación que cubra la zona de cargue y ventile la tolva báscula.

- El lavado de la planta, al igual que las aguas de escorrentía, debe conducirse mediante canales perimetrales hacia piscinas de decantación, preferiblemente en concreto, con capacidad para retener las mezclas provenientes de dicho lavado.
- Las plantas de asfalto deben ubicarse a una distancia de por lo menos 25 m de las oficinas administrativas y áreas de descanso para evitar molestias por ruido.
- Durante el mantenimiento de la planta de asfalto se debe prestar especial atención a los equipos de control de los gases del horno, los cuales pueden ser lavadores de gases, ciclones o filtros de mangas con medios filtrantes para temperatura. Se debe procurar utilizar las tecnologías más limpias para mejorar las plantas de concreto asfáltico.
- Las aguas provenientes de las plantas que operan con lavadores húmedos como sistema de control y que generan residuos líquidos con sedimentos provenientes de los finos que salen por las chimeneas de las calderas, deben ser conducidas hacia lagunas de sedimentación y posteriormente deben reutilizarse en el mismo proceso de filtración. Estas lagunas deben recibir un tratamiento periódico, en donde se incluya la extracción de los lodos del fondo dispuestos temporalmente en zonas de secado para ser luego reutilizados en el proceso de elaboración de la mezcla. Además, se debe incorporar en la piscina de sedimentación una trampa para retención de hidrocarburos y aceites.
- La planta de concreto debe rodearse con un bordillo de contención con una altura mínima de 20 cm para prevenir derrames en caso de que suba el nivel inesperadamente.

6) Operación de maquinaria, transporte y acarreos. Esta parte conlleva principalmente los siguientes efectos negativos: contaminación por emisiones de ruido, gases y partículas a la atmósfera, contaminación de aguas por lavado de maquinaria, desestabilización de márgenes en cruces con drenajes naturales, vertimientos de grasas y aceites, compactación de suelos, afectación de flora y fauna, incremento de accidentes, deterioro en las vías de acceso debido al transporte de materiales pesados, entre otros.

- El transporte de material deberá cumplir con las regulaciones nacionales en cuanto a carga, descarga, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros y materiales.
- Los vehículos utilizados para transportar materiales deben tener incorporados una palangana, cama o platoes apropiados para tener la capacidad de contener en su totalidad lo que sea dispuesto y evitar así derrames, pérdidas de material y/o escurrimientos. La palangana, cama o platón debe tener una estructura continua sin perforaciones, ranuras o espacio, y las puertas de descargue deben permanecer debidamente aseguradas durante el transporte. Además, la carga debe acomodarse para que el volumen quede a ras de la palangana.
- Si durante el transporte de materiales se atraviesa un poblado o vías abiertas de tránsito es

obligatorio cubrir las cargas con algún material resistente para evitar dispersiones, fugas, emisiones y derrames.

- Se debe contar con manuales para la operación segura de todas las máquinas y equipos utilizados.
- Todos los vehículos de carga deben tener en un lugar visible la capacidad de carga máxima permisible, la velocidad de operación autorizada y advertencia de peligros especiales durante el manejo del mismo. Estas instrucciones deben ser fácilmente identificables por el operador.
- Los equipos pesados para el cargue y descargue deben contar con alarmas acústicas y ópticas para operaciones de retroceso.
- En las cabinas de operación de los equipos no deben viajar ni permanecer personas ajenas al operador, a menos que sea debidamente autorizado por el encargado de la seguridad industrial.
- Los límites de emisiones de los motores de combustión interna están regidos en las leyes sectoriales por lo que se debe asegurar la operación de maquinaria en buen estado para asegurarse el cumplimiento de las mismas.
- Al finalizar la obra, se deben restablecer caminos y vías de acceso que se hayan destruido durante el transporte y por la maquinaria.

7) Bancos de préstamo y canteras. Durante la extracción de materiales pétreos de canteras y lechos aluviales se generan diversos impactos.

Uno de los impactos positivos es que al extraer material laminarmente en cauces, respetando sus márgenes y no profundizando más de lo permitido, se mejora el gradiente hidráulico. Uno de los impactos negativos, por otro lado, es que en la explotación de lechos aluviales se puede alterar la dinámica fluvial asociada a socavación debido a la extracción de materiales dentro de cauces causando una disminución en la capacidad de transporte y un aumento en el arrastre de material. Con esto se aumenta la erosión y abrasión, que al mismo tiempo aumenta la turbidez del agua y afecta la vida acuática y los usos del recurso. Además, también cambia la morfología del cauce haciendo probable la desestabilización de taludes.

Los impactos que se generan debido a la explotación de una cantera son:

- Desaparición de cobertura vegetal
- Afectación de zonas de recarga hídrica
- Alteración de los patrones de drenaje
- Incremento de procesos erosivos
- Inestabilidad de taludes y laderas naturales
- Cambios en el uso del suelo
- Emisión de partículas a la atmósfera
- Generación de ruido
- Alteración de fauna
- Afectación de sitios arqueológicos
- Alteración del paisaje

Además, se debe considerar lo siguiente:

- Las zonas para extracción de materiales de construcción (bancos de préstamo de arenas, gravas, piedra u otros materiales) deben seleccionarse según un análisis aprobado en el PAMA.
- El material superficial o de descapote removido de una zona de préstamo, debe ser almacenado para ser reutilizado posteriormente en restauraciones futuras.
- Se deberán aprovechar los materiales de buena calidad provenientes de los cortes para realizar rellenos o como fuentes de materiales constructivos para disminuir las explotaciones de fuentes y el impacto ambiental.
- Los desechos de cortes no pueden disponerse a media ladera ni arrojarse a los cursos de agua; deben llevarse a sitios de disposición previamente seleccionados en el diseño de la obra.
- La explotación del material debe realizarse fuera del nivel del agua y sobre las playas del lecho, ya que la movilización de maquinaria en zonas que se encuentran por debajo de este nivel aumenta la turbiedad del agua debido al arrastre de material.
- La explotación de material debe localizarse debajo de los puentes y de las captaciones para acueductos. Si es necesario explotar playas aguas arriba de las obras se debe dejar como mínimo 1 Km entre las obras y la playa de extracción, y un mínimo de 200 m aguas abajo.
- Si se realiza una explotación dentro de un cauce, deberá hacerse hasta un máximo de 1.5 m de profundidad evitando la profundización del lecho natural y de esta forma, cambios morfológicos en el río para permitir una recuperación más acelerada de los depósitos.
- Si se explota una playa, se debe realizar en los sectores más anchos y procurar utilizar toda la extensión del sector.
- Se deben proteger los márgenes de los ríos para evitar desbordamientos durante crecidas.
- El método extractivo más recomendado para la explotación de los lechos aluviales es la utilización de equipo mecánico como la retroexcavadora y cargador frontal.
- Las zonas destinadas al almacenamiento de los materiales extraídos del lecho deben ser zonas desprotegidas de cobertura vegetal y alejadas de cuerpos de agua.
- Se debe llevar un control a través de un registro de las cantidades extraídas para evitar sobreexplotación.
- Para la explotación de bancos de material o de préstamo se debe considerar:
 - Evitar labores de explotaciones en solamente un banco.
 - No explotar en zanjas o canales.
 - Establecer controles topográficos y geotécnicos en los taludes.
 - Establecer sistemas adecuados de drenaje para aguas de escorrentía a nivel de frentes de explotación y patios de carga.
 - Señalizar adecuadamente los frentes de trabajo para evitar el ingreso de personas ajenas a la explotación.
 - Asegurar que la maquinaria de carga y transporte utilizada tenga señales auditivas durante acciones de retroceso.
 - Humedecer los patios de carga y maniobras para evitar la emisión de polvo u otros materiales.

- Poseer el permiso ambiental correspondiente.
- Los caminos secundarios o de acceso para movilización y acarreo de materiales deben localizarse en ángulo recto con respecto a la dirección del tráfico para que no sean visibles fácilmente.
- No se deben acopiar materiales alrededor de árboles para evitar daños a los mismos, o su eliminación.
- Los bancos de préstamo que queden expuestos deben ser tratados con tierra orgánica para que se establezca con más rapidez la vegetación natural.
- Se deben construir los drenajes adecuados en los bancos de préstamo para evitar la acumulación de sedimentos y el estancamiento del agua evitando el desarrollo de vectores de enfermedades.
- El material sobrante de excavaciones, si es de buena calidad, debe ser utilizado para suavizar taludes, ensanchar hombros o en la construcción de áreas de descanso para viajeros.
- Los suelos orgánicos de los bancos de préstamo deben conservarse para que al finalizar las excavaciones estos sean utilizados para recubrir el banco y recuperar la vegetación autóctona.
- El material de cauces de ríos puede ser extraído manteniendo la pendiente natural del cauce y asegurando no ocasionar deslizamientos.
- No son permitidas las extracciones de materiales con máquinas dentro de cursos de agua ni a distancias menores de 200 m del centro de la vía al punto de extracción.
- En terrenos planos y/o de drenaje lento no es posible extraer materiales de préstamo para evitar la acumulación de aguas.
- Para disminuir problemas debido al exceso de sedimentos en suspensión, se deben construir pilas de sedimentación o diques transversales a la dirección del flujo sin que obstruyan totalmente el paso del agua.
- Los suelos orgánicos de los bancos de préstamo deben conservarse para que al finalizar las excavaciones estos sean utilizados para recubrir el banco y recuperar la vegetación autóctona.
- El material de cauces de ríos puede ser extraído manteniendo la pendiente natural del cauce y asegurando no ocasionar deslizamientos.
- No son permitidas las extracciones de materiales con máquinas dentro de cursos de agua ni a distancias menores de 200 m del centro de la vía al punto de extracción.
- En terrenos planos y/o de drenaje lento no es posible extraer materiales de préstamo para evitar la acumulación de aguas.
- Para disminuir problemas debido al exceso de sedimentos en suspensión, se deben construir pilas de sedimentación o diques transversales a la dirección del flujo sin que obstruyan totalmente el paso del agua.
- Se debe implementar un sistema de riego de agua periódico para minimizar problemas debido a la suspensión de polvo.

8) Cortes y rellenos o terraplenes

Los impactos debido a cortes y rellenos se relacionan con emisiones de ruido, gases y partículas debido a maquinaria; cambios en el patrón de drenaje de la zona, aporte de sedimentos a cuerpos de agua; afectación de predios debido a préstamos; alteraciones de nivel freático; afectación a humedales; fragmentación de hábitats; y alteración del paisaje.

- Se debe minimizar la circulación de maquinaria pesada en terrenos sensibles a la agricultura para evitar la compactación de suelos.
- Para evitar el estancamiento de aguas debido a los préstamos laterales para la construcción del terraplén, se debe disponer de una obra de drenaje con filtros longitudinales y cunetas que conduzcan el agua hacia drenajes naturales.
- Se favorecerá el crecimiento de arbustos sobre la zona de préstamo para controlar procesos erosivos y mejorar las condiciones ambientales y paisajísticas. Si no se dispone de arbustos, se deberán sembrar semillas previamente seleccionadas y aprobadas.

9) Secciones típicas para excavación en roca

- Los taludes en los que se encuentran formaciones de roca sólida y masiva, sedimentos bien cementados/compactados o depósitos volcánicos soldados (tobas o lapilis, por ejemplo), deben estabilizarse en cortes de $\frac{1}{4}:1$ a $\frac{1}{2}:1$ (horizontal: vertical).
- En taludes de roca fracturada o erosionada, las laderas deben cumplir con cortes de $\frac{1}{2}:1$ a $\frac{3}{4}:1$.
- El geólogo que realice el estudio debe tomar en cuenta estas recomendaciones, al igual que los ángulos de los buzamientos, ya que estos generalmente indican el ángulo estable de la ladera.
- Las excavaciones de grandes alturas deben construirse con plataformas de 3 a 5 m de ancho y 5 a 12 m de alto.
- Si los taludes son de roca quebrada o suelta, se puede utilizar mallas de alambre soldado para contención de muros.

10) Secciones típicas para excavación en tierra. Las excavaciones para lograr las secciones típicas de la vía son las que más impacto tienen en el ambiente. Las operaciones que incluyen los cortes para la conformación de la vía afectan en cuanto a:

- Ruido
- Emisiones de gases y partículas
- Aporte de sedimentos a cuerpos hídricos
- Erosión hídrica superficial
- Desestabilización de taludes y laderas naturales
- Modificación de flujos de agua
- Modificación de patrones de drenaje
- Destrucción de vegetación

- Cambios en el uso de suelo
- Modificación del ciclo hidrológico
- Alteraciones en el nivel freático
- Cambios físico-químicos en las propiedades del suelo
- Atropellamiento de fauna
- Destrucción de hábitats
- Alteración de la ictiofauna y calidad biótica de las aguas
- Deterioro de la infraestructura existente
- Incremento en el riesgo de accidentes
- Afectación de sitios de interés arqueológico
- Cambios drásticos en el paisaje

Dadas estas consideraciones, se deben seguir los siguientes apartados:

- Los cortes en la mayoría de suelos entre 10 a 15 m de altura deben estabilizarse con taludes entre $\frac{3}{4}$:1 a 1:1. En suelos sueltos y arenosos se requerirá un corte de talud entre 1:1 a 1.5:1.
- En áreas húmedas y quebradizas propensas a tener fallas, los taludes requeridos deberán ser menos inclinados con pendientes entre 2:1 a 3:1.
- En la **Tabla 57: Pendientes típicas de cortes según tipo de suelos**, se presentan las pendientes típicas según el tipo de suelo.

11) Secciones típicas para construcción de rellenos. Según los diferentes tipos de suelos, también se recomiendan pendientes tomando en cuenta si se encuentra o no agua subterránea. En la **Tabla 58**, se presentan pendientes sugeridas.

Tabla 57: Pendientes típicas de corte según tipo de suelos

Suelo #	Descripción USC	Nivel de Agua Freática Bajo (debajo de la excavación)		Nivel de Agua Freática Alta, Filtración o Área Inestable	
		Suelto	Compactado	Suelo	Compactado
1.	Grava arenosa (GW, GP)	1 ½:1	¾:1	3:1	1 ¾:1
2.	Arena, granos angulares bien graduadas (SW)	1 ½:1	1:1	3:1	2:1
3.	Grava limosa (GM); arena uniforme (SP)	2:1	1 ½:1	4:1	3:1
4.	Arena limosa (SM); Arena arcillosa (SC)	1:1	¾:1	3:1	2 ½:1
5.	Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura	¾:1	¼:1	3:1	2 ½:1
6.	Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura	1:1	¾:1	4:1	3:1

Nota: Por cada cambio de 5% en la densidad del suelo, modifíquese la relación aproximadamente 5%.

Tabla 58: Pendientes recomendadas para taludes de relleno de diversos materiales

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USC)	Talud Sin Agua Subterránea	Talud con Agua Subterránea
Roca Madre dura y angular	1.2:1	1.5:1
Grava arenosa GW	1.3:1	1.8:1
Arena, granos angulares bien graduadas GP, SW	1.5:1	2:1
Grava limosa, Arena uniforme GM, SP	1.8:1	3:1
Arena limosa, Arena arcillosa SM, SC ³	1.75:1 ó más plano	3:1
Limo arcillo arenoso, Arcilla con P.I. bajo ML	2:1 ó más plano	4:1
Limo arcillo arenoso ML	3:1 ó más plano	4:1

Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura
Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura

(SIECA, 2002: 42)

12) Secciones típicas para rellenos sobre áreas húmedas. El fondo de los rellenos que atraviesan áreas húmedas deben construirse con materiales granulares para permitir un drenaje libre. Además, se debe considerar el uso de una capa filtrante colocada debajo del relleno y/o geotextil.

13) Depósito de desperdicios en botaderos. Los impactos debido a depósitos de desperdicios se relacionan a emisiones de partículas, aporte de sedimentos a cuerpos de agua, destrucción y afectación de vegetación, compactación de suelos, cambios en el uso del suelo, inestabilidad en los suelos, procesos erosivos, afectación de paisajes, entre otros. Es importante seguir las siguientes normas:

- Los desperdicios removidos no rescatables, los materiales inadecuados para construcción y residuos de limpieza, deben ser colocados en un sitio ambientalmente adecuado, el cual debe ser escogido y aprobado por las autoridades competentes correspondientes.
- No es permitido colocar material de préstamo, escombros de roca y/o residuos vegetales en humedales; áreas con hábitats frágiles, especies amenazadas o en peligro de extinción; o en vestigios de valor cultural o histórico.
- Es indispensable que los sitios seleccionados como depósitos o botaderos estén suficientemente alejados de áreas pobladas, cursos o reservorios de aguas naturales y de uso potable, infraestructuras de servicios públicos, zonas de fragilidad ecológica, terrenos de cultivos o zonas en que el paisaje se vea afectado.
- Al cerrar definitivamente el botadero, se debe resembrar el área y conformarse según el relieve del entorno. Los desperdicios depositados no deben representar riesgos de contaminación en el área propuesta ni la compactación de los suelos.
- Los desperdicios pueden ser depositados temporalmente en las cercanías de la vía, por un período

no mayor a una semana, y luego deben trasladarse al botadero previamente seleccionado.

- Si no existe un relleno sanitario cerca del campamento se debe construir uno según las recomendaciones técnicas y obteniendo la autorización correspondiente. Esta obra debe durar hasta tres meses después de terminada la obra, y debe poseer un sistema de impermeabilización.
- Si se transportan explosivos, materiales tóxicos o cualquier otra sustancia ambientalmente peligrosa, se debe coordinar el recorrido de dichos vehículos de transporte con los Ministerios de Transporte y la institución de seguridad correspondiente.
- Los vehículos que se utilicen debe claramente identificar qué tipo de sustancias peligrosas transportan.
- Los vertederos deben localizarse en las zonas en donde tengan un menor impacto en el paisaje y ecosistemas. Además, se debe buscar disminuir la interrupción de los corredores naturales de la fauna silvestre.
- No se deben ubicar vertederos a distancias menores de 100 m de cursos de agua.
- No se puede disponer de cauces de agua como sitios de disposición de materiales.
- No se pueden verter residuos peligrosos y/o contaminantes a vertederos; solamente se pueden disponer desechos sólidos, basuras, sobrantes de movimientos de suelos, escombros y demás materiales inorgánicos procedentes de la construcción o rehabilitación.
- Se deben construir estructuras de control para evitar la descarga de sedimentos en corrientes de agua. Las medidas incluyen: la conformación de un terraplén de protección y la construcción de un drenaje perimetral para recoger las aguas del sitio.
- No es posible arrojar el material de excavación o corte a cuerpos de agua.
- Las zonas de disposición final deben ubicarse suficientemente alejadas de cuerpos de aguas asegurando que el nivel del agua en ningún momento sobrepase el nivel más bajo de los materiales colocados en el depósito.
- No se podrán colocar materiales en los lechos de los ríos o quebradas.
- Las aguas infiltradas o provenientes de drenajes deben conducirse hacia un sedimentador antes de ser vertidas al cuerpo receptor.

14) Extendido y compactación de carpeta de rodadura. Durante la conformación de la capa de rodadura se asocian la mayoría de los casos asociados a la contaminación de cuerpos de agua debido a derrames ocasionales de asfalto líquido y emulsiones durante la etapa de riego de liga. Además, es posible también que se ocasionen vertimientos de concreto asfáltico a cuerpos de agua cercanos. Asimismo, se producen emisiones de gases a la atmósfera durante el calentamiento del asfalto para el riego de liga. También es posible que se produzcan efectos sobre la salud de los operarios debido a la inhalación de gases, quemaduras y disposición del asfalto líquido.

Se deben considerar las siguientes normas durante la carga, transporte, disposición de materiales, campamentos, plantas asfálticas y operación de maquinaria en obras de pavimentación, repavimentación y bacheo:

- Se deberá tener especial cuidado en el riego del asfalto líquido, emulsiones y concreto asfáltico, especialmente si se hace cerca de cuerpos de agua. Si éste es el caso, se deben colocar barreras que impidan la contaminación del drenaje natural. Además, se deben implementar brigadas periódicas de aseo en las cunetas de la vía para remover y disponer adecuadamente de fragmentos y residuos generados durante este proceso. El material sobrante debe regresarse a la planta para su reciclaje o reutilización y no debe ser desechado en lugares no adecuados.
- Si se da un derrame accidental de asfalto líquido o emulsión asfáltica, se debe recoger el material y también el suelo contaminado, y luego disponerse de estos en un pequeño relleno sanitario diseñado para esto. Es necesaria una aprobación de las autoridades competentes o del supervisor ambiental.
- Para prevenir o mitigar el impacto ambiental producido por las emisiones generadas durante el calentamiento del asfalto se debe llevar a cabo dicho proceso alejado de centros urbanos o asentamientos humanos.
- Para el transporte y disposición del asfalto, los operarios deben obligatoriamente contar con el equipo adecuado, lo cual implica mascarillas, casco y botas.

15) Demarcación y señalización temporal y definitiva. Una debida y correcta demarcación y señalización pueden prevenir accidentes en varios niveles. Es por esto que es necesario acatar las siguientes reglas.

- Se debe implementar la señalización ambiental informativa y preventiva para proteger al ambiente, en especial para evitar el atropellamiento de la fauna, la tala indiscriminada de los bosques, y la contaminación del agua y del aire.
- La señalización se debe realizar con las dimensiones estándar para que sea fácilmente visualizada por trabajadores, usuarios de vía y habitantes.

16) Limpieza final de la obra

- Las áreas utilizadas para bancos de préstamo, pedreras, plantas trituradoras, etc. deben quedar libres de todo desperdicio y conformadas según el relieve natural del sitio.
- Las áreas de explotación de yacimientos de materiales deben reconfigurarse con taludes que reduzcan la erosión y deben reforestarse o tomarse medidas que permitan la regeneración natural.
- Los sitios de desvíos, retornos, caminos de acceso, entornos de la carretera y botaderos deben reforestarse para permitir una readaptación al entorno natural.
- Las áreas de campamento y talleres deben quedar libres de sustancias que puedan contaminar el ambiente.
- Las obras de drenaje deben tener una circulación libre de las aguas.

17) Finalización de trabajos de construcción

- Al abandonar un campamento, todos los recipientes, desperdicios, servicios sanitarios temporales y

cualquier otra construcción o material ajeno debe ser removido, reciclado y/o depositado en lugares autorizados.

- Todas las fosas deben ser tratadas con cloruro de calcio u otro desinfectante y cubiertos con arena.
- El área completa del campamento debe quedar limpia y en condiciones semejantes a su entorno original.
- Si los árboles impiden la penetración de luz a la vía, se deben podar para permitir el paso de luz únicamente las ramas que obstaculicen o sobresalgan.
- Si los árboles obstaculizan la vía, solamente podrán podarse las ramas necesarias para resolver el inconveniente o peligro.
- Después de realizar el desmonte, las orillas de las áreas donde se ha removido la vegetación debe quedar libre de material vegetal muerto.
- El contratista es el responsable de la preservación de toda propiedad pública y privada, incluyendo árboles, plantas y otras especies vegetales por lo que en el desmonte debe tomar las precauciones necesarias para evitar daños.
- Serán removidos los árboles que, aunque no estén dentro del área que será ocupada por la vía, representen un peligro eventual para los usuarios.
- Se deben proteger con cercas o barreras de altura apropiada árboles y áreas que contengan vegetación que se debe preservar.
- En sitios con paisajes de interés o de alto valor estético, se deben proveer las condiciones necesarias de visibilidad al área tomando en cuenta las precauciones para preservar la misma.
- Se deben reparar los daños ocasionados a la corteza, tronco, ramas y/o raíces de los árboles usando métodos aprobados.
- Debe realizarse una inspección minuciosa al terminar la construcción para corroborar que se han efectuado todas las especificaciones señaladas en el EIA.
- Es necesario realizar un inventario para determinar las medidas ambientales que deben reforzarse e incluirse en la etapa de mantenimiento.
- Si no se previeron ciertas medidas de mitigación durante la etapa de diseño para la etapa de construcción, se debe asegurar su seguimiento en la fase de mantenimiento.

d. Normas ambientales para la etapa de operación. Luego de aceptados los trabajos de construcción, se pasa a las etapas de operación y mantenimiento de todas las obras viales.

En la etapa de operación se dan los impactos indirectos que atrae el uso de la carretera: nuevos asentamientos humanos, incremento de tránsito vehicular, comercios, utilización de recursos naturales, entre otros. Es por esto que se deben seguir las siguientes normas:

- La utilización de recursos naturales en las áreas adyacentes se hará según lo establecido en las leyes ambientales por lo que se deberán dar los avisos y denuncias a las autoridades correspondientes.
- La tala, quema, modificación de la cobertura vegetal, traslado de trozas e instalación de

aserraderos deberán ser reportadas a las autoridades forestales correspondientes.

- Las actividades extractivas, en especial en taludes, bancos de préstamo, riberas y cauces de ríos, no son permitidas sin una previa autorización ambiental y de minería.
- Las actividades de caza y compra o venta de animales no es permitida y deberá comunicarse a la autoridad ambiental correspondiente.
- Se deben seguir las recomendaciones de señalización especificadas en el EIA sobre posible cruce de especies silvestres para reducir accidentes con animales.
- La carretera debe contar con las señales verticales para indicar corredores biológicos.
- La legislación ambiental y de recursos naturales del país es la que regula aspectos relacionados con emisiones de gases debido a motores de vehículos, ruidos, uso de combustibles y lubricantes y desgaste de llantas.
- Las autoridades regionales, nacionales y/o locales deben velar por el cumplimiento de las normas ambientales contenidas en los manuales y que entren dentro de su jurisdicción. Además, las normas deben ser proporcionadas oficialmente por el Ministerio de Transporte o un equivalente.

e. Normas ambientales para la etapa de mantenimiento. Se debe ofrecer un mantenimiento rutinario y periódico a todas las obras viales para que estas cumplan con sus funciones dentro del período de diseño. Las actividades ambientales de mantenimiento que se deben tomar en cuenta son las siguientes:

- Protección y manejo de estructuras instaladas en humedales, según lo establecido en el EIA.
- Protección de especies silvestres, en especial de especies amenazadas, endémicas o en peligro de extinción.
- Despeje de la vialidad
- Protección de bosques
- Mantenimiento de cercas vivas y áreas reforestadas
- Protección de cursos y cuerpos de agua
- Protección y mantenimiento de estructuras de drenaje
- Manejo de taludes

Además de estas actividades, también se deben cumplir las siguientes normas:

- No es permitida la limpia a ras del suelo o deforestación de árboles.
- Los taludes que han sido revegetados con gramíneas (pastos) u otra vegetación deben ser mantenidos.
- No se debe pagar si el mantenimiento de taludes o cunetas naturales se hace en limpia a ras del suelo o quema.
- Se deberán limpiar y remover los sedimentos y escombros de los drenajes, y los residuos deben depositarse en sitios previamente seleccionados. Estos residuos no se pueden arrojar en predios, ni a lo largo o ancho de la vía.

- Se deberán monitorear las obras estructuras para minimizar erosiones, inundaciones, entre otras.
- No se deberán usar productos químicos, tales como herbicidas, aceites, combustibles u otros contaminantes, en el control de malezas, especialmente en obras de drenaje.
- No es permitida la pesca con dinamita, barbasco u otro similar.
- No es permitida la cacería, colocación de trampas y/o comercialización de fauna.
- Para el rescate y reubicación de especies animales se debe seguir la normativa ambiental nacional.
- No es permitida la posesión de animales de fauna silvestre en los sitios de campamento.
- Se deben crear, darles mantenimiento y usar la debida rotulación en los lugares predeterminados para el almacenamiento de productos químicos o sustancias peligrosas.

C. Observaciones sobre tema ambiental de los manuales de construcción de carreteras de SIECA

Se mostrarán observaciones que pueden enriquecer a los manuales y facilitar su utilización para usuarios e interesados. De ninguna manera se busca menospreciar los estudios y contenido de los manuales, sino más bien se proponen posibles puntos para mejorarlos y así colaborar en la promoción y utilización de los mismos.

Además, se debe tomar en cuenta que las siguientes observaciones responden específicamente al contexto y leyes guatemaltecas.

Como observación general, que se debería aplicar a todos los manuales, se debe considerar que se debe seguir la normativa legal vigente, no necesariamente la existente.

Finalmente, cabe mencionar que se hacen recomendaciones para tres de los cinco manuales presentados ya que estos son los que a criterio personal agregan más valor en la construcción de carreteras.

1. Recomendaciones hacia los manuales

a. Manual Centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. En *Campamentos, plantas y manejo de materiales* el informe técnico que se solicita incluye un punto en el que se debe incluir una evaluación ambiental. Sin embargo, el informe técnico es en sí una evaluación ambiental. Además, se debe considerar que se puede ampliar sobre el concepto de sensibilidad ambiental, aclarando que se considera una zona ambientalmente sensible a áreas protegidas, bosques vírgenes y zonas de recarga hídrica.

En la eliminación de desperdicios se debe considerar que:

- Los baños químicos pueden ser letrinas por lo que se recomienda especificar qué tipo de letrina se debe utilizar. Comúnmente y ya que éstas facilitan la limpieza, se deberían utilizar letrinas móviles recibiendo el debido permiso por las autoridades competentes, que en Guatemala corresponde al Ministerio de Ambiente
- Las fosas sépticas constituyen un tratamiento de aguas negras en donde primero se sedimentan los sólidos mientras que los líquidos se llevan a un pozo de absorción, el cual utiliza la tierra para filtrar. Resulta de suma importancia incluir que es posible la utilización de fosas sépticas solamente si hay hasta treinta trabajadores; si se excede esta población de trabajadores se debe utilizar una planta de tratamiento.
- Un pozo negro es también llamado un pozo ciego y es simplemente un hoyo en la tierra donde se depositan todos los desperdicios. Se debe tomar especial cuidado en que los desperdicios allí depositados no ocasionen derrames que puedan contaminar los suelos y/o fuentes de agua.

Al retirar los rastros de ocupación se debe especificar a dónde se debe retirar. Por ejemplo, la chatarra se debe reciclar; los escombros si es tierra negra se puede vender o utilizar para rellenos; los cercos de madera se pueden utilizar para leña; las instalaciones eléctricas se reciclan; y los pavimentos con un debido tratamiento se pueden utilizar para abalastrar caminos de tercera categoría. Como generalidad, se debería incluir que los residuos deben depositarse según sus propiedades, reciclarse o reutilizarse.

En *Plantas de producción de materiales*, se puede mencionar que para controlar las emisiones atmosféricas es posible utilizar cortinas que confinen el área de trabajo o riegos.

En *Manejo y transporte de materiales peligrosos*, se debe especificar que el almacenamiento y/o transporte debe ser respaldado no necesariamente por la normativa existente, sino por la normativa nacional vigente. Cabe mencionar que para combustibles se debe obtener un permiso con el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para explosivos el permiso se debe obtener con el Ministerio de Defensa Nacional.

En *Explotación de sitios de préstamos*:

- Se puede incluir en la parte de *Disposiciones generales* una breve descripción sitios de préstamo, el cual corresponde a los lugares de explotación de materiales tales como balastro, arena, basaltos y cantos rodados.
- No siempre resulta económicamente viable remover suelo fértil ya que éste es un procedimiento bastante costoso debido al transporte de la tierra.
- En cuanto a botaderos, se debe especificar que los contenedores o envases para residuos tóxicos deben seguir la normativa nacional vigente.
- Se debería especificar qué desechos químicos se deben envasar ya que algunos se pueden reciclar. La gasolina, por ejemplo, no se debe envasar.
- La mayoría de desechos químicos no se deben enterrar a menos que sean biodegradables o que se

entierren en un relleno sanitario. No existe en Guatemala una reglamentación para enterrar desechos químicos, a menos que sea en un relleno sanitario.

En *Protección de flora y fauna*, se debe tomar en cuenta que:

- Según la Ley Forestal, no existen plantaciones artificiales, solamente las voluntarias, las cuales define el Artículo 4 de la misma ley como “[plantaciones] establecidas sin previo compromiso ante autoridad forestal competente por aprovechamiento o por incendios forestales para su reforestación”.
- No necesariamente se deben cortar ramas si no cubren los cortes con material adecuado ya que el corte de ramas depende de la especie.
- Las talas y desbroces no necesariamente se deben realizar en invierno ya que según el Ing. Bautista, en invierno no se deben cortar árboles porque a) la sábila circula mucho por lo que la madera se pudre rápidamente y b) es más difícil ingresar debido a lodo, etc. La mayoría de obras civiles se hacen en verano.
- No necesariamente se deben conservar las zonas de árboles ya que en muchos casos es necesario talar. Para esto se debe obtener una licencia de cambio de uso de suelo, la cual exige la Ley Forestal.
- No existe una ley en Guatemala que especifique que se debe obtener un permiso para solicitar el uso de agua. Por lo tanto, tampoco existe una entidad que autorice el uso de agua. Anteriormente, existía la Dirección de Riego y Avenamiento, dentro del Ministerio de Agricultura, la cual daba este permiso, pero dicha entidad se disolvió.
- Como medida de mitigación en caso de incendios, se debe disponer en la obra de bolsas de aserrín, semillas de algodón o cualquier otro material abrasivo que absorba rápidamente.
- No necesariamente se deben plantar dos árboles por cada árbol retirado ya que según el Artículo 46 de la Ley Forestal, se debe reforestar el área equivalente a lo talado; es decir, se debe cubrir con vegetación el área de lo que cada árbol representaba. También se puede optar por pagarle al INAB lo equivalente a lo que se taló en lugar de reforestarlo. El INAB luego tiene la obligación de reforestar las áreas. Actualmente, se paga al INAB Q19,500/hectárea talada.
- Para recubrir taludes y terraplenes no se debe necesariamente utilizar vegetación de rápido crecimiento sino vegetación de la misma especie, a menos que el INAB autorice otra especie, lo cual no es muy común.

b. Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgos y seguridad vial. Se debe considerar en *Gestión ambiental* que el gestor ambiental es el que asesorará y velará por el cumplimiento por las especificaciones ambientales.

Además, resultaría útil definir un EIA (Estudio de Impacto Ambiental), el cual es un documento en el que se contemplan todos los impactos ambientales negativos y positivos que produce una obra, proyecto, actividad o industria al desarrollarla y dicta las medidas para prevenir, mitigar y cuáles no

son mitigables. Además, todo lo redactado debe estar acorde a los términos de referencia que da el MARN en los diferentes instrumentos ambientales.

c. Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. En *Normas ambientales generales* se debe considerar que:

- El manual especifica que se deberá investigar si existen zonas de recarga acuífera, entre otros, pero se debe referir a estas zonas como zonas de recarga hídrica.
- Se debe considerar que estos sitios a estudiar se hacen con el fin de obtener una señalización adecuada y también para contactar a cada una de las entidades encargadas de dichos temas. Por ejemplo, para áreas protegidas y paseos ecológicos se debe contactar a CONAP e IDAHE; y zonas de recarga hídrica y tomas de agua, MARN y Ministerio de Agricultura.
- En cuanto a lo que debe evaluar un estudio de impacto ambiental (EIA), se puede ver en el Apéndice A. Entrevista con Ing. Amed Bautista los documentos que un EIA debe incluir. Se debe agregar la necesidad de incluir documentos legales relevantes al proyecto, monitoreos ambientales, medidas de seguridad humana e industrial, costos de mitigación, entre otros.

En cuanto a *Normas ambientales específicas sobre el manejo de recursos naturales*, se debería considerar que:

- Un pozo tratado puede resultar un trabajo elevado en costos por lo que se puede usar agua embotellada, nacimientos de agua cercanos tratados con cloro, entre otros.
- Si se afectan humedales y no se aprueban las áreas para uso de construcción, es necesario desviar la carretera y proponer un nuevo trazo.
- Si el corredor vial atraviesa zonas boscosas, se debe acudir específicamente al INAB.

En *Normas ambientales para la etapa de construcción*:

- Se recomienda utilizar el término *aprovechamiento forestal* en vez de *deforestación*.
- Se debe tomar en cuenta que no necesariamente se debe reforestar sino más bien se puede pagar al INAB para que ellos se encarguen de reforestar, tal como se mencionó anteriormente y según se establece en la Ley Forestal.

En la parte de supervisión ambiental se debe considerar que:

- Se debe controlar que el personal no esté expuesto a ruido arriba de 70dB, no 80Db. En dado caso, se deberán usar protectores. También se debe considerar que existe un número de horas máximo al que se puede estar expuesto según el ruido. Por ejemplo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), si se está expuesto a 70dB el máximo tiempo de exposición es de 8h; 80dB, 6h;

90dB, 5h; 100dB, 2h; 105dB 0:30h.

- En la noche, es decir entre 6:00PM y 7:00AM, el máximo ruido permisible es de 55dB.
- Se debe asegurar no solamente que los taludes tengan las pendientes indicadas en los planos, sino además que los taludes reciban la estabilización necesaria.
- Para montar una planta de tratamiento es necesario que se cumpla lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en donde se establecen los parámetros aceptables de DBO, DQO, etc.
- Los ruidos y vibraciones no solamente deben reducirse en lo posible sino según las normas establecidas por la OMS.
- Para el manejo, incluyendo el abastecimiento, de combustibles se debe estar acorde con la licencia otorgada por el Ministerio de Energía y Minas.
- Para el tratamiento de aguas negras se debe seguir lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- Para la construcción de pasos que evitan la fragmentación de poblaciones animales, se debe considerar el tránsito que circulará debajo del mismo para determinar una altura a la que los vehículos más altos puedan circular.

En la sección de *Apertura y adecuación de carreteras*, se debe considerar lo siguiente:

- Cobertura vegetal se refiere no solamente a la maleza sino a todo el ecosistema existente (flora y fauna), ya que la remoción de dicho ecosistema es la que trae uno de los impactos más negativos.
- Para las rozas también es necesario obtener una licencia en el INAB.

Para la sección de *Plantas trituradoras de producción de concreto asfáltico e hidráulico*, se debe considerar que:

- En Guatemala, no existe una legislación nacional que establezca estos puntos. Se utiliza lo establecido por la EPA (Environmental Protection Agency), Unión Europea y Banco Mundial.
- Una distancia prudente para la ubicación de la planta trituradora es entre 50 m y 100 m, pero puede variar según los requerimientos de cada proyecto.

En *Operaciones de maquinaria, transporte y acarreos*, se debe considerar que en Guatemala, no existe actualmente una ley que rija las emisiones de los motores.

En *Bancos de préstamo y canteras*, se debe considerar la explotación de material debe localizarse debajo de los puentes y de las captaciones para acueductos ya que las mismas cimentaciones de los puentes y captaciones bloquean la corriente ocasionando una acumulación de sedimentos.

En *Secciones típicas para excavación en roca* es importante tomar en cuenta que al realizar excavaciones de grandes alturas las dimensiones de las plataformas que se construyen dependen en gran manera del tipo del material que se está excavando.

Para *Depósito de desperdicios en botaderos*, es importante tomar en cuenta que:

- Para la construcción de un relleno sanitario generalmente se construye en una depresión en donde se colocan alternándose una capa de desperdicio con una capa de arena o cal.
- Para el transporte de explosivos, materiales tóxicos o cualquier otra sustancia ambientalmente peligrosa se debe coordinar con el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda; Dirección General de Transporte; y el Ministerio de la Defensa para obtener el permiso adecuado y si fuera necesario circular fuera de su jurisdicción.
- Los residuos peligrosos y/o contaminantes deben disponerse en contenedores especiales y luego deben transportarse a las empresas o industrias que le den un trato adecuado a los mismos.

En *Normas ambientales para la etapa de operación*, se debe considerar que en Guatemala, el ente encargado de proveer las normas ambientales debe ser el MARN, el cual es el equivalente al Ministerio de Transporte mencionado en el manual.

Finalmente, cabe notar que la mayoría de las normas ambientales dictadas en *Normas ambientales para la etapa de mantenimiento* no son aplicadas correctamente ya que en la mayoría de proyectos, luego de terminada la construcción se le da poco mantenimiento preventivo a las carreteras. Un ejemplo es la carretera de San Mateo a San Juan Sacatepéquez en donde se puede observar poca protección a los taludes ya que los vecinos constantemente remueven la arena que allí se encuentra.

2. Recomendaciones generales. Ya que es importante la implementación de nuevas tecnologías ambientalmente sostenibles, se sugiere en el presente estudio la implementación de dos nuevas tecnologías a los capítulos de los manuales. Estas tecnologías, además de tener un impacto ambientalmente positivo, han probado mejorar propiedades mecánicas de los asfaltos y reducen ciertos costos que hacen más atractiva una construcción de una carretera.

D. Dos tecnologías ambientalmente sostenibles

1. Utilización de hule reciclado de neumáticos en pavimentos. La adición de hule de neumáticos a pavimentos se ha utilizado en otros países y ha demostrado que se mejoran ciertas propiedades físicas y mecánicas, tales como una mejor adherencia, mayor resistencia al agrietamiento por fatiga y contracción, y menores deformaciones permanentes. Además, la reutilización de llantas presenta una solución a la acumulación de neumáticos y, por lo tanto, un manejo ambientalmente sostenible de los mismos.

La utilización de hule asfáltico no es muy frecuente en América Latina, a pesar de que su desarrollo comenzó a finales de la década de 1930 utilizándose en sellos de juntas, parches y membranas. En 1978, se construyó en California el primer concreto asfáltico con hule, y para 1995 ya había más de 400 proyectos con hule asfáltico. (Bernhard, 2009)

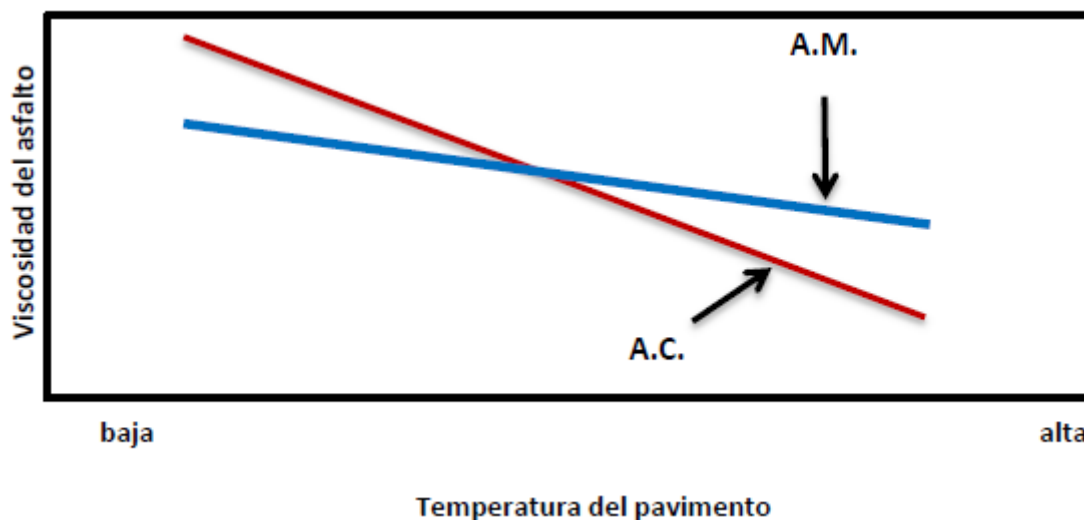
a. Antecedentes. Es posible modificar un asfalto a través de la adición de polímeros para mejorar ciertas propiedades mecánicas.

Al modificar los asfaltos con polímeros se busca contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, tales como el ahuellamiento y aumentar la rigidez de la estructura de pavimento.

Un asfalto modificado con polímeros es un asfalto con propiedades físicas y reológicas mejoradas, que se consigue integrando moléculas de polímeros en la estructura del asfalto.

El efecto principal de mezclar polímeros con los asfaltos es mejorar la relación viscosidad-temperatura, permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a altas como a bajas temperaturas. (Sánchez, 2011)

Ilustración 56: Efecto del asfalto modificado con polímeros sobre la rigidez y la temperatura



*A.M. = Asfalto modificado

A.C. = Asfalto convencional

(Vásquez, 2010)

El asfalto tiene un intervalo definido de temperatura donde muestra su mejor desempeño. Este intervalo se define entre temperaturas 10°C y 60°C. Arriba de los 60°C, el asfalto comienza a ablandarse, adquiriendo un comportamiento post-elástico. Si la temperatura es menor de 10°C el asfalto se convierte en un sólido rígido, que no admite deformación alguna, sufriendo fracturas, particularmente a temperaturas menores de 0°C.

Ilustración 57: Deformación del asfalto al ablandarse por temperatura mayor a 60°C



(Sánchez, 2011)

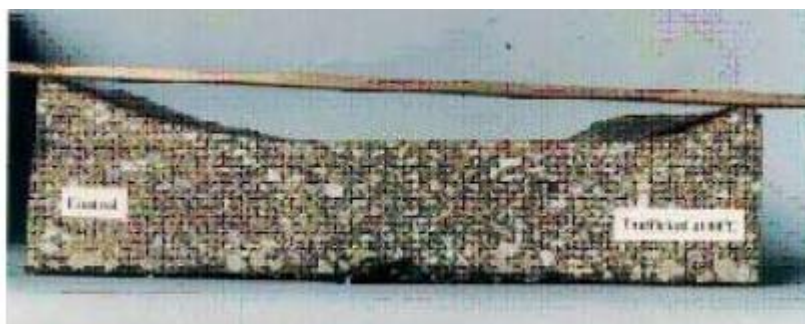
Ilustración 58: Fractura en el asfalto a temperaturas menores de 0°C



(Sánchez, 2011)

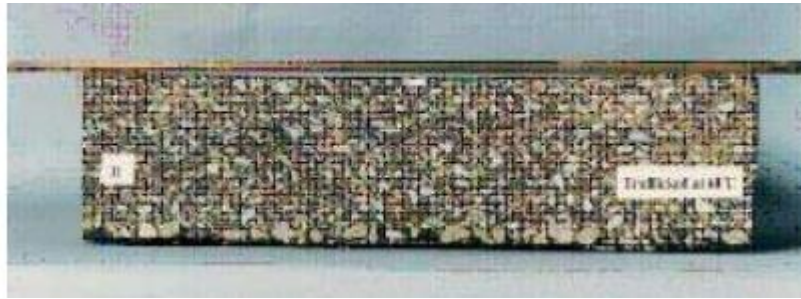
Para mejorar el intervalo de temperatura de desempeño del asfalto y así hacerlo más versátil a cambios climáticos y condiciones variadas de deformación, se agregan aditivos modificadores al asfalto.

Ilustración 59: Muestra asfáltica convencional a 60°C



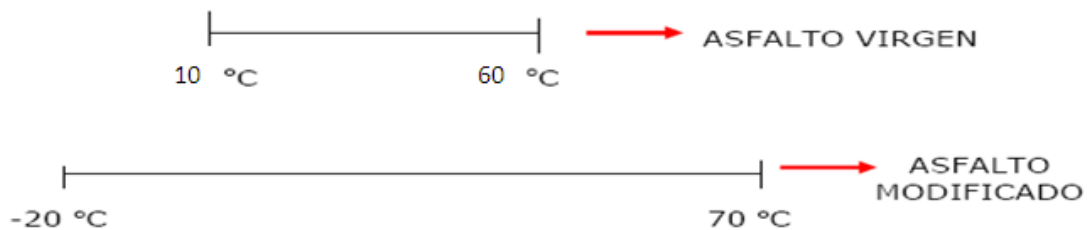
(Vásquez, 2010)

Ilustración 60: Muestra asfáltica modificada con polímeros a 60°C



(Vásquez, 2010)

Ilustración 61: Temperatura de desempeño de pavimentos



(Sánchez, 2011)

En el mercado existen diferentes agentes modificadores del asfalto y la mayoría de estos son de naturaleza polimérica. Estos permiten extender la temperatura de efectividad del asfalto como agente ligante.

1) Tipos de modificadores

a) Polímero tipo 1. Este tipo de modificador mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a temperaturas altas y bajas. Se fabrica en polímeros elastoméricos mediante configuraciones entre las cuales se encuentran las SBS o SB.

Se utiliza para carpetas con índices de tránsito alto y vehículos pesados, ya sea en climas fríos o calientes.

b) Polímero tipo 2. Este tipo de modificador mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas, esto quiere decir que se utiliza cuando se requiere mejorar el comportamiento de servicio en climas fríos y templados. Se fabrica con polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno (SBR), Butadieno-Látex o Neopreno-Látex.

c) Polímero tipo 3. Este tipo de modificador mejora la resistencia al ahuellamiento

de las mezclas asfálticas y disminuye la reacción del cemento asfáltico a la temperatura. Se fabrica a base de un polímero elastómero, mediante configuraciones como EVA. Se utiliza en climas calientes para carpetas estructurales que conlleven altos índices de tránsito.

b. Reciclaje de neumáticos. Los neumáticos en los depósitos sanitarios se acumulan en los depósitos sanitarios ocupando grandes espacios ya que las llantas son un desecho no compresible. Además, dada su forma, es común que funcione como viviendas de animales vectores de enfermedades y se estanca el agua propiciando enfermedades transmitidas por mosquitos y zancudos.

El proceso de vulcanización, en el cual se calienta el caucho crudo para volverlo más duro y resistente al frío, es un proceso al que son sometidos los neumáticos. Sin embargo, obtener llantas de este proceso resulta un proceso complicado y económicamente elevado. Es por esto que al reciclar neumáticos estos se convierten en diferentes productos.

Algunos de los métodos más comunes para reciclar hule son el método de molienda a temperatura ambiente y método criogénico.

c. Aplicaciones para utilizar neumáticos reciclados

1) **Asfalto modificado con hule.** Se añade hule a las mezclas asfálticas para usarlo en sellos de juntas o como sustituto de agregados en el concreto asfáltico.

2) **Neumáticos molidos para rellenos de subrasantes, terraplenes y muros de contención.** Se utilizan los neumáticos molidos para rellenos de subrasantes en los hombros de las carreteras y terraplenes. Debido a su baja densidad, también son utilizados atrás de los muros de contención para reducir presiones sobre el muro y funcionar como una capa drenante. (Bernhard, 2009)

3) **Construcción y operación en rellenos sanitarios.** Los neumáticos molidos pueden utilizarse en rellenos sanitarios para construir rampas y accesos. También pueden utilizarse para cubrir restos de desechos.

4) **Rompeolas y construcciones de arrecifes artificiales.** Las llantas pueden apilarse y unirse con tornillos de nylon para formar rompeolas y arrecifes naturales.

5) **Sistemas de drenaje.** El hule molido se puede sustituir por la grava utilizada en drenajes franceses o fosas sépticas.

d. Utilización de hule reciclado en pavimentos. El hule reciclado de las llantas es una mezcla de hule sintético, hule natural, antioxidantes, aceites de dilatación y otros materiales solubles en mezclas asfálticas. Existen dos métodos para utilizar el hule en mezclas de pavimentos.

El primer método es un proceso frío en el que se sustituyen entre 1% y 3% de los agregados en mezclas de concretos asfálticos por partículas de hule. En este proceso el cambio en la mezcla de concreto asfáltico es mínimo.

El segundo método es un proceso caliente. En este método, sí se da una modificación sustancial de la mezcla original ya que el hule se agrega antes de que se mezcle con el resto de los componentes del pavimento. El producto que se obtiene de este proceso se denomina hule asfáltico. La ASTM define al hule asfáltico como una mezcla de cemento asfáltico, hule reciclado de neumáticos y ciertos aditivos, en donde el componente de hule es por lo menos 15% del peso total de la mezcla y ha reaccionado suficientemente en el cemento asfáltico caliente para causar hinchamiento de las partículas de hule. Las especificaciones para el hule asfáltico están en la norma ASTM 6114 “Standard Specification for Asphalt Rubber Binder”.

Dos tipos de aplicaciones principales de hule asfáltico son RAC-G y RAC-O.

1) RAC-G. El RAC-G posee una graduación discontinua ya que no está graduado para todos los tamaños de partículas. Además, contiene un número muy bajo de partículas que pasan el tamiz 8 por lo que existe un mayor contacto entre partículas de mayor tamaño.

El RAC-G funciona como una capa estructural en el pavimento. Es más efectivo si se utiliza en capas compactadas de 30 mm a 60 mm, y si se requiere una capa de mayor espesor es necesario colocar una capa de concreto de mezcla asfáltica en caliente antes para poder obtener el espesor suficiente.

Es frecuentemente utilizado como capa de reparación o “topping”. Además, puede ser utilizado en áreas urbanas donde existe tránsito interrumpido, como en las intersecciones y calzadas. Este tipo de mezcla no se recomienda para parqueos debido a que estos pavimentos están sujetos a frenos simultáneos y movimientos de cruce frecuentes.

2) RAC-O (Rubber Asphalt Concrete – Open-graded). Este tiene el objetivo de ser drenante por lo que consiste en su mayoría de dos o tres tamaños nominales de partículas de agregado con pocos finos (entre 0% y 4%) que pasa el tamiz 200.

Esta mezcla se utiliza frecuentemente para carpetas de rodadura delgadas por lo que es utilizada como

capa de reparación. No debe utilizarse en lugares donde el tránsito es muy interrumpido ya que es un pavimento altamente poroso susceptible a daños por líquidos derramados por vehículos. Es efectivo para reparar las juntas o grietas en pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico.

e. Ventajas de mezclas con hule

1) **Resistencia al ahuellamiento.** La resistencia al ahuellamiento es un indicador de la deformación permanente que va a sufrir un pavimento en el tiempo. Es una falla estructural muy común en pavimentos flexibles y se da debido a que se exceden las cargas para las cuales fue diseñado el pavimento, malos procesos constructivos y/o altas temperaturas durante el servicio de la carretera.

Ilustración 62: Ahuellamiento en una carretera



(Bernhard, 2009: 30)

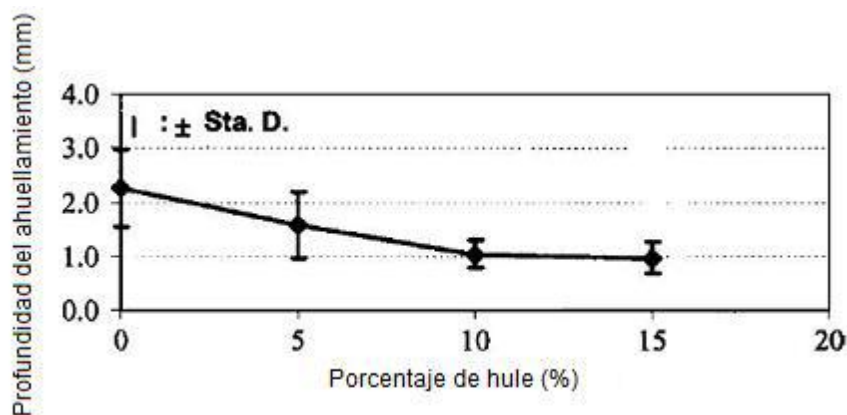
Según varios ensayos, se ha demostrado un incremento en la resistencia al ahuellamiento al añadir hule a la mezcla.

Bernhard (2009: 30) menciona el ensayo realizado por Reyes y Camacho, en donde añadieron hule en proceso frío; es decir, como parte del agregado. Ellos utilizaron tres variantes en la adición de hule: hule en polvo, hule en tiras, y una mezcla que contenía 50% de hule en polvo y 50% de hule en tiras. El hule fue añadido en proporciones de 0.15% a 0.75% con respecto al peso de los agregados, en intervalos de 0.15%. Se demostró que las mezclas con hule presentaban una disminución en la deformación de hasta el 23%. Sin embargo, para la tercera variante (50% polvo y 50% tiras), los resultados no fueron favorables ya que la deformación aumentó en un 33%.

En esta misma tesis se menciona que se realizó otro ensayo en donde se agregó hule en el proceso caliente; es decir, como parte del bitumen. Al aumentar la cantidad del hule, la rigidez del pavimento

disminuye y disminuye el ahuellamiento, como se puede observar en la **Ilustración 63**.

Ilustración 63: Deformación permanente según porcentaje de hule en pavimentos reciclados



(Xiao, *et al*, 2007:481)

2) **Disminución de grietas.** Los cambios de temperaturas en un pavimento pueden ocasionar grietas en la superficie. La adición de hule en caliente aumenta la elasticidad, lo cual aumenta la resistencia a la fatiga y disminuye la formación de grietas. Cabe mencionar que una disminución de grietas, al igual que un aumento a la resistencia al ahuellamiento, implica una reducción de costos de mantenimiento.

3) **Mejora del drenaje superficial.** Debido a que el RAC-O posee una graduación abierta, esta presenta una superficie que drena el agua fácilmente hacia las orillas de la estructura del pavimento. De esta forma se protegen las capas debajo de la carpeta asfáltica y la seguridad de los usuarios de la carretera.

4) **Mejora de adherencia superficial.** Los concretos de hule asfáltico proveen superficies con mejores características de fricción debido a la graduación de los agregados. Esto genera una mayor seguridad para los usuarios de las carreteras por lo que representa una característica muy importante de estas superficies modificadas.

5) **Reducción de ruido.** Se ha documentado que asfaltos con hule llegan a reducir entre un 40% y 88% el ruido causado por la fricción entre las llantas y la carpeta asfáltica. Sin embargo, no se ha logrado determinar con precisión la duración del abatimiento del ruido.

6) **Pigmentación negra y duradera en la carpeta de rodadura.** Para brindar seguridad y comodidad a los usuarios de una carretera es importante mantener un buen contraste entre la

carpeta de rodadura y la señalización horizontal. Esto implica que la carpeta de rodadura mantenga un color oscuro y que no refleje luz para evitar deslumbramientos que puedan distraer al usuario.

La utilización de hule contribuye a una pigmentación oscura duradera ya que el hule contiene carbón negro, el cual funciona como un pigmento que mantiene el pavimento negro por más tiempo. (Bernhard, 2009)

f. Desventajas con mezclas con hule. Algunas de las desventajas al utilizar pavimentos con hule son las siguientes:

1) **Costos unitarios mayores.** Debido a la movilización requerida del equipo para trabajar con hule asfáltico y a la necesidad de utilizar mayores cantidades de cementante, frecuentemente se da un incremento en costos. Sin embargo, al utilizar mezclas con hule se disminuyen costos de mantenimiento por lo que para proyectos con una vida útil relativamente larga, los costos se ven compensados. También se ha determinado que los pavimentos con hule son accesibles como rasantes delgadas de unos 30 a 60 mm y en sellos.

Tabla 59: Costos registrados en la rehabilitación de un pavimento en California

Item Description	Year		
	2000	2004	2005
CALTRANS CONSTRUCTION ITEMS			
Conventional Type A HMA (dense-graded), \$/ton	30-34	50-64	61-78
Conventional HMA (open-graded), \$/ton		44-61	73-74
Polymer Modified HMA(dense-graded), \$/ton	34-40		
Polymer Modified HMA(open-graded), \$/ton		63	71
RAC-G, \$/ton	44-50	53-65	73-76
RAC-O, \$/ton		64-67	69-78
CALTRANS MAINTENANCE ITEMS			
Chip Seals			
Emulsion Chip Seal, \$/yard ²	1.20-1.50		---
Polymer Modified Emulsion Chip Seal, \$/yard ²	1.50-1.80		2.55-3.40
Asphalt Rubber Chip Seal, \$/yard ²	3.00-3.60		9.25
Thin Overlays			
Conventional HMA (dense-graded), \$/yard ²			6.40
Polymer Modified HMA, \$/yard ²			7.10-9.25
RAC-O, RAC-G, \$/yard ²			8.50
RAC-O-HB, \$/yard ²			9.25

(Bernhard, 2009: 45)

2) **Restricción en mezclas de graduación densa.** No es posible utilizar mezclas con hule si las mismas presentan una graduación densa ya que el porcentaje de vacíos no es suficientemente alto como para aceptar un contenido aceptable de hule asfáltico.

3) **Complicaciones en proceso constructivo.** Para mezclas con hule se necesita alcanzar temperaturas mayores a las temperaturas necesarias para las mezclas tradicionales en caliente.

4) **Olores y emisiones.** Al agregar hule a las mezclas se genera un olor que resulta poco agradable y además se generan emisiones cuya peligrosidad aún no ha sido exactamente determinada.

5) **Limitaciones en temperatura.** El hule asfáltico no debe utilizarse en temperaturas menores a 13°C o en época lluviosa. Además, se debe considerar que el bitumen obtenido al utilizar hule asfáltico es altamente viscoso por lo que temperatura resulta ser un factor crítico.

6) **Requerimiento de bombas.** Debido a la alta viscosidad que presentan las mezclas con hule puede ser necesario utilizar bombas en las plantas.

g. Utilización de hule en mezclas de pavimentos en Guatemala. En las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes en la Sección 411 se determina que es posible utilizar asfaltos modificados para mejorar las propiedades visco-elásticas del concreto asfáltico. Además, especifica que los modificadores pueden ser polímeros, tales como elastómeros, compuestos metálicos, compuestos azufrados, fibras y silicones.

Cabe mencionar que el uso específicamente de hule no se menciona como un modificador pero tampoco se descarta ya que este es también un polímero; el hule de neumáticos está formado por polímeros de hule natural, sintético o una mezcla de ambos. Frecuentemente, el tipo de polímero utilizado en la fabricación de neumáticos de hule es el SBR, el cual es mencionado en el Libro Azul como uno de los modificadores más utilizados debido a las buenas propiedades que brinda.

El asfalto modificado que contiene SBR se clasifica como un asfalto modificado Tipo II. Sin embargo, el hule asfáltico contiene frecuentemente más de un solo tipo de polímero y la normativa guatemalteca no desarrolla sobre una clasificación que se adecue enteramente.

Tabla 60: Especificaciones de asfalto modificado Tipo II

Propiedades	Norma		Clases de Asfalto Modificado Tipo II		
			II-A	II-B	II-C
Penetración, a 25° C, 100g y 5 s	AASHTO T 49	Min.	100	70	80
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202	Min.	800	1600	1600
Viscosidad, 135° C, centi Stokes	AASHTO T 201	Máx.	2000	2000	2000
Ductilidad, 4° C, 5 cpm, mm	AASHTO T 51	Min.	500	500	250
Punto de Flama, ° C	AASHTO T 48	Min.	232.2	232.2	232.2
Solubilidad, %	AASHTO T 44	Min.	99	99	99
Endurecimiento, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	0.429	0.629	0.629
Tenacidad, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	0.286	0.429	0.429
Ensayo del Residuo del Horno de Película Delgada (RTFOT) AASHTO T 179					
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202	Máx.	4000	8000	8000
Ductilidad, 39.2, 5 cpm, mm	AASHTO T 51	Min.	250	250	80
Endurecimiento, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	-	-	0.629
Tenacidad, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	-	-	0.429

(Dirección General de Caminos, 2001: 411)

Cabe resaltar que entre las principales diferencias entre el asfalto modificado Tipo II y el hule asfáltico, se encuentra en que el polímero SBR es una emulsión de hule mientras que el hule reciclado tiene una forma granulada o en polvo. Además, el asfalto modificado Tipo II, según ciertas propiedades, recomienda graduaciones densas, lo cual no es recomendable para mezclas con hule.

h. Utilización de neumáticos de hule en pavimentos rígidos. La utilización de concreto reforzado con fibras es una técnica que se utiliza para mejorar la resistencia a flexión, ductilidad y la contracción del concreto hidráulico. Sin embargo la adición de fibras compuestas por hule para concretos hidráulicos no mejoran significativamente las propiedades de dicho pavimento, según estudios realizados por la FHWA (Bernhard, 2009: 56).

Sin embargo, en el Centro de Tecnología del Cemento y Concreto en México (CTCC) se desarrolló una formulación para agregar llantas recicladas al concreto, en donde la mezcla contiene entre un 8% y 10% de hule de neumáticos agregados en el proceso en frío. Esta mezcla, llamada llancreto, resulta considerablemente más costosa pero demostró disminuir deformaciones en la carpeta de rodadura, una mejor durabilidad de hasta 20 años y un mejor frenado de vehículos. La utilización de hule en concreto hidráulico no ha sido suficientemente investigada y solamente en algunos casos ha mostrado mejorar las propiedades del pavimento sin dejar de implicar un aumento considerable en costos. Es por esto que la utilización de hule en pavimentos rígidos no resulta una tecnología frecuentemente aplicada.

i. Reflexiones sobre la utilización de neumáticos de hule para pavimentos flexibles

- La reutilización de neumáticos de hule resulta una solución ambientalmente viable ya que contribuye a la disminución de la acumulación de neumáticos en botaderos.

- La reducción de neumáticos de hule en botaderos también implica un impacto en salud ya que disminuye la probabilidad de incidencia de enfermedades.
- Al agregar polímeros de neumáticos de hule a las mezclas de asfalto se mejoran ciertas propiedades mecánicas que permiten un mejor funcionamiento de la estructura vial.
- Es posible agregar neumáticos de hule a la mezcla asfáltica tanto en frío como en caliente.
- Resulta económicamente viable la utilización de neumáticos de hule únicamente en proyectos de carreteras de concreto asfáltico que tengan un tiempo de vida relativamente largo, ya que aunque la utilización de esta tecnología propone un incremento en costos unitarios, reduce los costos de mantenimiento al proveer al pavimento mejores propiedades mecánicas.
- Las propiedades que brinda la adición de neumáticos de hule a las mezclas asfálticas son la resistencia al ahuellamiento, disminución de grietas, mejora de drenaje superficial, mejora de adherencia superficial, reducción de ruido y una mejor pigmentación en la carpeta de rodadura.
- La reutilización de neumáticos de hule puede aplicarse en la modificación de las mezclas de asfalto pero también existen otras aplicaciones tales como para rellenos, rompeolas y sistemas de drenaje.
- En concretos asfálticos, no se recomienda utilizar graduaciones muy densas al utilizar mezclas con hule de neumáticos.
- El hule asfáltico ha probado tener una mejor aplicación en capas de rehabilitación, ya que muestra mejoras considerables en durabilidad y además resulta económicamente viable.
- La utilización de neumáticos de hule para concretos hidráulicos no es una técnica frecuentemente utilizada ya que no se han realizado suficientes investigaciones que prueben una mejora sustancial en las propiedades del pavimento y además implica un incremento de costos difícilmente compensado o justificado.
- La normativa nacional vigente no presenta ninguna limitación en cuanto al uso de neumáticos de hule como modificadores en mezclas asfálticas.
- Los neumáticos de hule como modificadores en concretos asfálticos presentan frecuentemente más de una sola forma de polímero por lo que las especificaciones nacionales vigentes no muestran exclusivamente un apartado en donde especifique el uso correcto y aplicación de neumáticos de hule como modificadores.
- Resulta para Guatemala una opción viable la utilización de neumáticos de hule en mezclas asfálticas ya que implica un impacto positivo en el ambiente, salud, mejora las propiedades una carpeta y además puede reducir costos en el largo plazo.

2. Utilización de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado o Reclaimed or Recycled Asphalt Pavement)

El concreto asfáltico que es removido de la carpeta asfáltica debido a que ya no cumple con su función como carpeta de rodadura puede ser utilizado posteriormente como un agregado. Este material reclamado o

RAP, llamado así por sus siglas en inglés (Reclaimed Asphalt Pavement), es desintegrado a una graduación específica y luego es utilizado como un agregado durante el proceso de mezcla del nuevo pavimento. Puede utilizarse en reciclaje en frío de mezclas asfálticas para pavimentos de dos formas diferentes.

En el primer método, el cual es referido como reciclaje en planta de mezclas en frío, el RAP se combina en una planta con emulsiones de asfalto y agregados vírgenes para fabricar mezclas en frío. Los requerimientos para realizar la mezcla son muy similares a los utilizados en reciclaje en caliente y el pavimento asfáltico debe procesarse a un material granular antes de aplicarlo a mezclas en frío. Una planta típica de RAP consiste en un desintegrador, unidades de cribado, transportadores y apiladores. Este método no es muy común por lo que no existen muchos registros ni investigaciones sobre cómo se mejoran las propiedades de los asfaltos al utilizar dicho método.

El segundo método, el cual es más común, involucra un proceso en el que el asfalto es reciclado en el lugar o en sitio; el RAP se combina sin calor con nuevas emulsiones y agregados vírgenes en el sitio para producir una nueva mezcla en frío. Además, este método requiere un tren continuo de operación de desintegración, cribado, mezcla del RAP ya desintegrado y adición de agentes modificadores. Emulsiones asfálticas catiónicas, aniónicas y con polímeros han sido desarrolladas específicamente para incorporarse a este proceso, ya que pueden ser requeridas para disminuir la viscosidad de los ligantes en el RAP.

a. Propiedades ingenieriles del RAP. Algunas de las propiedades de interés para utilizar en el RAP son la graduación, contenido de asfalto, grado de penetración y viscosidad del ligante.

1) Graduación. La graduación del RAP procesado debe ser más fina que la de un agregado virgen. Esto se debe a la degradación mecánica que se da durante el proceso de remoción. Los agregados de RAP deben satisfacer los requerimientos de la norma ASTM D692 para agregados gruesos y la norma ASTM D1073 para agregados finos.

2) Contenido de asfalto. El contenido de asfalto de la mayoría de pavimentos dañados o que han llegado a su vida útil está entre un 3% a 7% del peso total y un 10% a 20% del volumen total del pavimento. Debido a procesos de oxidación, el asfalto es más viscoso y tiene menores valores de penetración que un asfalto virgen.

3) Penetración y viscosidad. Según el tiempo de servicio al que ha estado expuesto el pavimento, el RAP recuperado puede tener valores de penetración entre 10 y 80, y valores de viscosidad a los 60°C (140°F) entre 2,000 y 50,000 poises.

b. Consideraciones de diseño. Para satisfacer los requerimientos de reciclaje de asfalto en frío es usualmente necesario rejuvenecer o aumentar la cantidad de ligante en el RAP para disminuir la viscosidad y/o aumentar la penetración. Los métodos de diseño del RAP dependen de si se hace en la planta o en el sitio.

1) Diseño de la mezcla de reciclaje en frío en la planta. Se puede hacer referencia a las especificaciones para diseño de pavimentos asfálticos de reciclaje en frío en la norma ASTM D4215.

Aunque no existe un solo método para diseño de reciclaje en frío, es posible utilizar el método de Marshall. En general, se debe determinar la graduación de los agregados y contenido de asfalto del RAP procesado, determinar el porcentaje del nuevo agregado que se añadirá (si es el caso), determinar el tipo y grado del nuevo asfalto y determinar el porcentaje de asfalto requerido para la nueva mezcla.

El porcentaje de asfalto requerido de los agregados se puede determinar según una fórmula que considera los porcentajes que pasa el RAP y agregado virgen en determinados tamices. Son de interés el porcentaje retenido en el tamiz 8, el porcentaje que pasa entre el tamiz 8 y tamiz 200 y el porcentaje que pasa el tamiz 200. El porcentaje del nuevo asfalto debe ser la diferencia entre el porcentaje de la cantidad de asfalto demandada y el porcentaje de la cantidad de asfalto contenida en el RAP. Utilizando esta cantidad de asfalto necesaria determinada, se deben preparar muestras Marshall con diferentes porcentajes de emulsión para determinar la cantidad óptima de asfalto que muestra las mejores propiedades en cuanto a capacidad de carga, contenido de vacíos, entre otros.

Se debe tomar en cuenta que la capacidad estructural de una mezcla en frío reciclada puede considerarse igual a la de una mezcla en frío convencional.

2) Diseño de la mezcla de reciclaje en frío en el sitio. Se recomienda utilizar un procedimiento Marshall modificado para mezclas de reciclaje en frío en el sitio. En esta forma de diseño inicialmente se deben obtener muestras del pavimento para determinar la graduación del agregado, contenido de asfalto, grado de penetración y viscosidad del ligante. Las muestras Marshall deben contener distintos porcentajes de contenido de asfalto según los cálculos realizados basándose en la graduación de agregados. El contenido óptimo de asfalto se puede determinar según la estabilidad y vacíos; se estima que el porcentaje de vacíos debe mantenerse en un rango de 8% y 10% del volumen total.

Estudios recientes han demostrado que la adición de agregados vírgenes (entre un 20% y 25%) disminuye el volumen de vacíos, lo cual aumenta la estabilidad de la mezcla. Además, el agente reciclado, el cual debe mantenerse entre un 2% y 3% del peso del RAP seco, también tiene un impacto significativo en el comportamiento de la mezcla.

El reciclaje en sitio es generalmente considerado en la rehabilitación de pavimentos que muestran deformaciones a profundidades entre los 100 mm y 150 mm (4 in a 6 in). Además, en comparación con el

reciclaje en caliente en sitio, el reciclaje en frío en sitio puede admitir un pavimento en condiciones más pobres. (Estados Unidos, 2008)

c. Procedimientos de construcción. Según el método que se elija, en planta o en sitio, se presentarán variaciones en el proceso constructivo.

1) Manejo de material y almacenamiento para reciclaje en frío

a) En planta. El RAP se obtiene con equipo que permite el quebrado, desintegración o pulverización del material reclamado. Para asegurar que el producto final del RAP trabaje como se espera es necesaria una constante inspección del RAP que entra a la planta y por lo tanto, el rechazo de RAP contaminado con exceso de material granular, sellante, etc.

Una vez que el RAP ha sido procesado, este puede ser manejado y almacenado como un agregado convencional. Sin embargo, debido que el RAP obtenido de diferentes fuentes varía, se recomienda mantener separados los distintos tipos de RAP. Además, se recomienda que para prevenir la aglomeración de partículas de RAP este no debe apilarse en columnas mayores a 3 m. También se debe considerar que el RAP apilado horizontalmente y con alturas no muy altas ayuda a mantener un buen contenido de humedad (aproximadamente entre un 7% y 8%).

Usualmente el RAP no se debe cubrir ya que esto puede causar condensación y agregar humedad al RAP. Por esta razón, el RAP debe mantenerse descubierto almacenado bajo techo.

2) Mezcla, aplicación y compactación

a) En planta. La remoción de la carpeta asfáltica es realizada por un tambor rotatorio y luego el RAP es transferido a camiones. Luego, el RAP es mezclado con el nuevo agregado y con el asfalto en una planta. La mezcla es colocada como una mezcla fría convencional utilizando el mismo equipo y las mismas técnicas para compactar y curar el asfalto frío convencional. Generalmente, las mezclas frías son colocadas en estructuras viales con un volumen de tránsito bajo, generalmente menor a 3,000 vehículos por día, y requieren varios días y noches con temperaturas no muy bajas para que se dé un curado adecuado.

b) En sitio. Típicamente se debe contar con una máquina que trate el asfalto en frío que sea capaz de remover entre 100 mm y 150 mm de la carpeta asfáltica. Las plantas en sitio consisten en unidades de cribado, pulverización, una mezcladora para agregar las emulsiones y agua, y también es necesaria una unidad para colocar la mezcla.

Luego de aproximadamente 30 minutos de curado, el material debe compactarse con un compactador de neumáticos grande y luego con un compactador vibratorio de rodo liso.

Además, se debe tener la capacidad de agregar agua para enfriar y controlar emisiones de polvo.

Finalmente, se debe considerar que se deben esperar aproximadamente dos semanas con temperaturas alrededor de los 16°C para que se dé un curado adecuado y luego se pueda aplicar el asfalto en caliente.

3. Control de calidad

a) En planta. Es necesario tomar muestras aleatorias de RAP para analizar su graduación, contenido de asfalto, humedad y que no contenga contaminantes como exceso de material granular o sellante. La cantidad de cualquier otro agregado que se mezcle con RAP también debe ser monitoreada, y las mezclas deben tomarse según AASHTO T168.

Llegar a la compactación adecuadamente también es esencial para obtener un comportamiento óptimo. Se debe determinar al principio del proyecto el número de golpes necesarios para alcanzar la densidad deseada y se puede monitorear la densidad según lo indicado por la norma ASTM D2950.

b) En sitio. Es importante tomar en cuenta el estado inicial del proyecto; si un pavimento ya muestra fallas superficiales debido a la base o subbase entonces la solución no se dará con la colocación de una superficie de rodadura reciclada.

Para asegurarse que la aplicación del RAP sea exitosa es necesario tomar muestras aleatorias del RAP y analizar la graduación de los agregados, contenido de asfalto, contenido de humedad (debe ser menor a 1% del pavimento existente antes del proceso de reciclaje) y compactación (se puede hacer referencia a la norma ASTM D2950). También resulta necesario hacer revisiones de calidad una vez que ya se haya colocado el RAP verificando el curado, la apariencia, posibles segregaciones, compactación, entre otros. (Estados Unidos, 2008)

d. Reflexiones sobre la utilización del RAP

- La utilización del RAP, aunque no es frecuente ni altamente conocida en Guatemala, resulta una tecnología económicamente viable ya que reduce costos de materiales.
- En la utilización del RAP se tiene un impacto positivo en el ambiente ya que propone la reutilización de la carpeta asfáltica luego de que la misma ha presentado fallas que requieren un recapeo.
- El RAP se puede tratar en una planta aplicándolo posteriormente, o en sitio aplicándolo directamente.
- Los dos métodos de aplicación del RAP requieren distintas formas de manejo y almacenamiento.
- No es recomendable apilar el RAP en columnas mayores a 3 m.
- Es recomendable utilizar el RAP con volúmenes de tránsito bajos (menores a 3,000 vehículos por día).

**VIII.DEFINICIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS
NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE UNA
EFECTIVA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN
ECONÓMICA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
DE CARRETERAS MEDIANTE UNA METODOLOGÍA
ESTRUCTURADA EN UN ANÁLISIS DE COSTO,
FINANCIERO, DE RIESGO Y LA UTILIZACIÓN DE
TÉCNICA DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO**

A. Introducción

La infraestructura vial conforma parte de una serie de proyectos cuya ejecución se encuentra a la orden del día, más aun, en países cuyas características socio-económicas se encuentran plagadas de innumerables deficiencias, propias de los países subdesarrollado, sin que Guatemala sea la excepción. Es allí en donde radica la importancia de este tipo de proyectos y de naturaleza similar, y es que los proyectos de carreteras son convertidos en auténticos elementos promotores de desarrollo.

Los proyectos de infraestructura, puntualmente la construcción de carreteras son proyectos que se pueden transformar en agentes de desarrollo económico, ya que el mantenimiento, aplicación, ejecución o construcción de las mismas conlleva una serie de beneficios asociados, que conducen a la mejora las condiciones de vida de un conjunto social. La lógica es la siguiente: al ejecutar un proyecto de esta naturaleza los dividendos percibidos son numerosos iniciándose un ciclo económico virtuoso que permite acortar la brecha de carencias existentes, ya que la mejora de accesibilidad que por lo general es el primer beneficio obtenido de un proyecto vial conlleva al aumento en la comercialización, el acceso a la tecnología a su vez permite aumentar la productividad de las personas generando así un nuevo mercado económico en donde antes no lo había.

En los últimos años, la importancia de este tipo de proyectos se ha sensibilizado, es por ello que las naciones han trabajado en conjunto unificando esfuerzos y criterios para consolidar los mecanismos referentes a este tipo de proyectos, esto con el fin de homogenizar el enfoque que se adoptara en estos. Tal es el caso de la *Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA*, la cual se ha dado a la tarea de consolidar una serie de manuales que permitan la estandarización en cuanto al mantenimiento, riesgo, seguridad, requisitos básicos, esquemas de asociación, entre otros, necesarios a considerar para todas las carreteras del Istmo

Sin embargo, no es suficiente con normalizar los aspectos técnicos en los proyectos de infraestructura vial, igualmente importante es definir como se ha de evaluar económicamente un proyecto de este tipo. La toma de decisiones es un elemento ineludible en la evaluación de cualquier proyecto independiente a su naturaleza, no obstante, la toma de decisiones ha de estar claramente fundamentada y respaldada por todo un análisis previo.

Es por ello que una evaluación económica es clave en los proyectos. En consecuencia se ha de procurar una metodología rigurosa que permita una evaluación económica de los proyectos carreteros, y que esta pueda ser utilizada sin ningún inconveniente por el evaluador de un proyecto independientemente de donde tenga lugar la ejecución del proyecto.

B. Revisión del enfoque de evaluación económica y gestión de riesgo en manuales desarrollados por SIECA

En esta sección se pretende analizar, y determinar cuál es el enfoque que se le ha dado a la evaluación y formulación financiera en proyectos para el mantenimiento de carreteras, así como las pautas que se han manejado últimamente en cuanto a la gestión de riesgo para la misma tipología de proyectos. Todo lo anterior bajo el marco de los manuales desarrollados por la *Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA*. Para ello se procede a hacer mención de los siguientes 3 manuales de dicha institución:

- Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras.
- Financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación público privadas.
- Identificación y análisis de riesgo legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones.

1. Descripción breve de los manuales

a. Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras. El Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial es un compendio producto del esfuerzo integral de las naciones que conforman el Istmo Centroamericano. El producto de ello fue una serie de especificaciones que lograrán homogenizar las condiciones de mantenimiento de todas las carreteras de las regiones, esto como producto de los desastres naturales acaecidos a finales del siglo XX, dado que los desastres naturales no distinguen fronteras políticas, la estandarización de dichos procedimientos generaría beneficios para toda la región. En dicho manual se establecen los procedimientos a efectuar para el mantenimiento de la infraestructura vial diferenciando en carreteras no pavimentadas, pavimentos asfálticos, pavimentos rígidos, pavimentos semi-rígidos, estandarización de los hombros de las carreteras, puentes y estructuras menores.

b. Financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación público-privadas. El Manual de financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación público-privadas surge como un documento inicial de un estudio mayor titulado como Fortalecimiento Regional del Marco Legal, Regulatorio e Institucional para Concesiones Viales en los Países del Plan Puebla-Panamá. En dicho documento se abordan temas tales como los criterios mínimos para realización proyectos viales bajo esquemas de asociación público-privados, así mismo, destaca una sección de la elaboración del perfil de los flujos de efectivo para proyectos de la misma naturaleza, conceptos de las tasas de retorno para dichos proyectos, medición del riesgo de dichos esquemas de asociación y el diseño del aporte público a los alianzas público-privadas.

c. Identificación y análisis de riesgo legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones. El *Manual de identificación y análisis de riesgos legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones* es un tercer documento de un compendio mayor titulado como Fortalecimiento Regional del Marco Legal, Regulatorio e Institucional para Concesiones Viales en los Países del Plan Puebla- Panamá. En dicho documento se introduce al lector en concepto de riesgo desde una perspectiva general, el análisis y asignación de riesgos en un proyecto vial, así como en la tipología de riesgos asociados como lo son: legales, económicos, ambientales, territoriales, de catástrofes y desastres naturales, de financiamiento, políticos, de operación, de implementación de explotación, conservación y de mantenimiento. Así mismo en el estudio se efectúan análisis de los riesgos existente asociado a obras viales concesionadas, y se identifica a los elementos involucrados en cada uno de estos. Posteriormente se dedica un apartado para recomendaciones a fin de minimizar el riesgo producto de dichas concesiones.

2. Observaciones generales de los manuales. El Conjunto de manuales analizados en el siguiente trabajo de investigación, comprende un conjunto de documentos que pretenden unificar criterios entre todos los países a nivel centroamericano, esta estandarización de elementos busca que en todo el Istmo el tratamiento que se dé a los proyectos viales sea el mismo, esto bajo el fin común de crear una infraestructura vial mucho mejor administrada a lo largo de toda la región, para ello, los manuales exponen diversos factores que se suscriben a cualquier proyecto carretero: especificaciones de mantenimiento, estándares mínimos, identificación de riesgos en proyectos de carreteras, formas de financiamiento, esquemas de financiamiento y temas de auge reciente como lo son la seguridad vial, el nivel de servicio, entre otros.

Es importante mencionar que los tres manuales en cuestión, constituyen una valiosa herramienta como referencia teórica, sin embargo, estos no presentan al lector una guía de cómo proceder en cada uno estos al momento de querer efectuar la evaluación de un proyecto de forma personal.

3. Observaciones específicas de los manuales

a. Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras. En este documento se encuentra una vasta cantidad de información en cuanto a disposiciones de carácter técnico para ejecutar el mantenimiento de carreteras, esto bajo el supuesto de establecer las pautas generales para el mantenimiento vial a nivel centroamericano y así poder estandarizar y homogenizar dichos procedimientos. Sin embargo, para los propósitos de interés de esta sección, el manual en ningún momento desarrolla los conceptos de formulación y evaluación económica para encarar proyectos de mantenimiento de carreteras. Situación similar sucede con el enfoque en gestión de riesgo, ya que a pesar de mencionar aspectos de riesgo, en ningún momento se refiere al riesgo como parte de un modelo financiero en caso de querer realizar una evaluación económica para este tipo de proyectos.

b. Financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación público-privadas. En este documento SIECA busca ahondar en los criterios financieros mínimo para realizar este tipo de asociaciones, que involucran una combinación de inversión tanto del sector público como de la iniciativa privada. Sin ahondar tanto en el tema, este documento no recopila la información de interés para los propósitos de esta sección de la presente investigación, y es que todo el documento está basado en los esquemas de asociaciones público-privadas, y en ningún momento trata de forma independiente el financiamiento privado y público.

c. Identificación y análisis de riesgos legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones. En este documento se genera una vasta clasificación de los tipos de riesgo latentes al momento de efectuar concesiones, del mismo modo se introduce a los conceptos ineludibles al hablar de riesgo, como lo es la incertidumbre. También se hace referencia a la asignación y análisis de los riesgos presentes en proyectos de infraestructura vial, es así como se mencionan riesgos de reconstrucción y diseño, riesgo de construcción, riesgos legales, riesgos ambientales, riesgos económicos (segmentados en: riesgo de tránsito e ingresos, riesgo de tipo de cambio, riesgo de inflación, riesgo de sindicación, riesgo de interrupción, entre otros) riesgo de financiamiento, riesgo de contrapartida o debido a los participantes, riesgo políticos, riesgos de operación y por último el riesgo territorial.

Analizando la información de la que se provee en los tres documentos por parte de *SIECA*, constituyen una buena fuente de información y consulta, sin embargo, hay ciertos aspectos que podrían ser mejorados o desarrollados desde un punto inicial, ya que no se encuentran en dichos documentos:

En cuanto a las pautas establecidas para el financiamiento y esquemas de proyectos públicos y privados para el mantenimiento de carreteras, *SIECA* no cuenta con un manual para ello, solo se encuentra bajo esquemas de asociación. Por lo que en la siguiente sección del presente trabajo de investigación se pretende desarrollar una metodología que indique de manera detallada, ordenada y secuencial los pasos para efectuar una correcta evaluación de proyectos de carreteras. Y es que las reseñas bibliográficas y diversas entrevistas a expertos del tema indican que aun una metodología clara y concisa que dicte los procedimientos a efectuar sería de gran utilidad.

En lo que respecta al análisis de riesgo, si bien es cierto que el documento *Identificación y análisis de riesgo legales económicos, ambientales y territoriales en concesiones* recoge de manera consistente la tipología de riesgos asociados a concesiones. Sin embargo, dada la naturaleza de esta investigación, en el cual se pretende desarrollar un manual financiero de proyectos viales, su utilidad se ve mermada, ya que las concesiones son un elemento muy específico, las cuales no son el objeto de esta investigación. Dado lo anterior surge otra oportunidad como un aspecto más que justifique la realización de un manual de esta naturaleza.

Si bien es cierto, que entre la clasificación de riesgos que se efectúa en el manual, se incluye el riesgo financiero, este se considera de manera independiente a un análisis financiero, a pesar de ser aspectos estrechamente ligados. Por otra parte, en el mismo documento, se detallan los tipos de riesgos financieros en el que se pueden incurrir, sin embargo, el documento lejos de ser un manual, constituye sobre todo texto informativo, de modo, que su utilidad al momento de querer abocarse a él como fuente para efectuar un análisis de riesgo en proyectos de mantenimiento de infraestructura es muy limitada.

Por otro lado, al no mostrar técnica(s) para el correcto análisis financiero de riesgo en proyectos de infraestructura, los documentos actuales se ven limitados en cuanto a la inclusión de técnicas contemporáneas y altamente eficaces que dotan de contundencia al análisis financiero de esos proyectos, como lo es la técnica de simulación de Montecarlo.

4. Recomendaciones. Los manuales actuales desarrollados por *SIECA* no contienen una metodología que funcione como una guía para evaluar desde una perspectiva económica la ejecución de un proyecto vial. En ella aspectos como costos, beneficios, rentabilidad y riesgo deberían de ir de la mano, buscando siempre una toma de decisiones claramente parametrizada.

Hasta ahora, los manuales de *SIECA* aquí expuesto, más que una metodología de cómo ejecutar dichos estudios de evaluación económica de proyectos de infraestructura vial, funcionan como un conjunto de referencia bibliográfica, no mostrando mayor utilidad para el *know-how* en la elaboración de dichos estudios.

Luego de una serie de contactos con expertos institucionales, se definió el interés por desarrollar una metodología clara que expusiera de modo detallado, aunque no complejo el modo de proceder al momento de evaluar económicamente un proyecto de carreteras.

Se definió, que una guía completa y a la vez innovadora (ya que se incluyen herramientas de mucha utilidad y de uso relativamente reciente) debía de contener los siguientes elementos:

A. MODELO DE LA EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD EN PROYECTOS VIALES

1. VALOR ACTUAL NETO (VAN) EN PROYECTOS DE CARRETERAS

- a. Simplificación del modelo
- b. Flujos de efectivo de los costos y beneficios para el Valor Actual Neto VAN

B. METODOLOGÍA DE COSTO-BENEFICIO PARA PROYECTOS VIALES

- 1. Medición de los costos y beneficios
- 2. Metodología para evaluación de los costos y beneficios
 - a. Deducción de la expresión del Beneficio social de una nueva infraestructura vial: método B

- b. Deducción de expresión del Beneficio social cuando varía el precio generalizado: método A
 - c. Deducción de la expresión del Beneficio social cuando se consideran los impuestos
 - 3. Consolidación de la medición de costes y beneficios
- C. LA DEMANDA: PROYECCIONES EN UN PROYECTO VIAL
 - 1. Modelo de predicción de viajes en base al comportamiento histórico
 - 2. Modelo de predicción de viajes en base a la elasticidad de la demanda de transporte.
 - 3. Modelo de generación de viajes
 - 4. Modelo de distribución de viajes
 - 5. Modelo de asignación de tráfico
 - 6. Modelo de distribución por modo de transporte
- D. RIESGO E INCERTIDUMBRE
 - 1. El riesgo y sus componentes
 - a. variables sujetas a incertidumbre
 - b. consideración de la incertidumbre en el modelo de evaluación
 - c. criterios de decisión al contabilizar las incertidumbres asociadas al proyecto
 - d. decisión de postergar un proyecto
- E. La simulación del proyecto mediante la técnica de Montecarlo.
 - 1. Utilización de CrystalBall para el método de Montecarlo

Es importante mencionar que existen diferencias sustanciales entre las características y evaluación económica de las alternativas en los sectores público y privado ya que los beneficios y objetivos que se esperan (entre otros aspectos) se tipifican de manera distinta a la de un proyecto de connotación privada. Los expertos consultados afirmaron que una metodología basada en esquema de asociación público-privados tendría poca practicidad ya que los proyectos ejecutados bajo dichos esquemas son sumamente escasos, por lo que indicaron que una evaluación para proyectos financiados públicamente sería la más adecuada.

Es por lo anterior, que surge la necesidad de elaborar un manual en el cual se detalle de manera clara y precisa la metodología a seguir para efectuar un análisis económico en proyectos de construcción de carreteras, el cual enlace como un todo: análisis de costos, análisis de rentabilidad, análisis de riesgo y la técnica de simulación de Montecarlo, que estos cuatro aspectos sean parte integral de un análisis económico. No como hasta ahora se a manejando como aspectos independientes.

C. Metodología para la evaluación económica de un proyecto vial

A continuación se desarrolla una completa metodología para la evaluación económica de proyectos de infraestructura de carreteras, para ello se pretende dividir el manual o estudio en 4 grandes etapas estrechamente ligadas entre sí, esto dará como resultado una sólida formulación y evaluación de proyectos, hasta ahora inexistente para esta tipología de proyectos.

Los cuatro aspectos que configuran una clara metodología para la evaluación de un proyecto vial son:

- Análisis y evaluación de Costos.
- Análisis de la demanda (tránsito)
- Análisis de rentabilidad.
- Análisis de beneficios.
- Análisis de aspectos ambientales y sociales

Ahora bien, es importante hacer saber al lector, que el componente de riesgo se encuentra presente en cada una de las etapas del análisis (en este documento se pretende abarcar el riesgo mediante el método de Montecarlo) así mismo, la evaluación de costos (inciso A) y la evaluación de beneficios (inciso D) se han aglutinado en un análisis frecuentemente utilizado; el Análisis ABC (análisis beneficio-costos)

Cada uno de los temas anteriores será desarrollado a detalle, y bajo la secuencia mostrada, (el concepto de aspectos ambientales y sociales, es considerado de modo superficial, ya que se analiza con mayor profundidad en otro segmento de esta investigación) no sin antes partir por definir los conceptos básicos de gestión de proyectos para luego ya entrar propiamente al respectivo análisis.

1. Generalidades de un proyecto. Los criterios, técnicas y metodologías para formular, preparar y evaluar proyectos se formalizaron de forma pionera en 1958 con el *Manual de proyectos de desarrollo económico* de la *Organización de las Naciones Unidas ONU*. A pesar de los grandes avances desde entonces, el procedimiento general sigue centrándose en la recopilación, creación y sistematización de información que permita identificar y medir cuantitativamente los costos y beneficios de un eventual proyecto de gestión.

En esta sección se pretende indagar la forma sistemática de estudiar proyectos, específicamente de proyectos viales, a fin de delimitar los pasos a seguir para determinar de forma eficiente la mejor asignación de la inversión que la tipología de estos proyectos demanda.

A diferencia de los estudios de proyectos que pretenden iniciar de cero cualquier acción, las evaluaciones de proyectos que involucran modificar una situación existente tal y como es el caso en los proyectos

carreteros como las inversiones que se efectúan para modernización, mantenimiento o mejora de un proyecto, demandan consideraciones particulares, procedimientos de trabajo específicos y diferentes. Esto debido a que, en el momento de analizar un cambio tentativo de una situación actual, la evaluación deberá de estar orientada en comparar el beneficio neto (la diferencia entre los costos y el beneficio esperado) entre la situación actual y la situación modificada, es decir, se analiza la variación en cuanto a la creación de valor futuro que se obtendría por la modificación de un proyecto existente con relación al valor esperado que se adquiere si se mantiene la situación actual. Una opción que siempre ha de ser considerada al momento del análisis económico es la opción de *no hacer nada* (mantener las condiciones del proyecto actuales)

La evaluación de proyectos bajo el contexto de proyectos viales, se deberá de entender como un modelo que facilita la toma de decisiones en cuanto a la selección de las mejores alternativas. Y es que un análisis de esta naturaleza el cual buscar percibir el comportamiento futuro de las acciones que se toman en tiempo presente son estimaciones no exactas.

Por el contrario, en la evaluación de un proyecto nuevo todos los costos y beneficios deben de considerarse el momento de efectuar el análisis, en la evaluación de proyectos de mantenimiento, modernización o creación (como es el caso de estudio de esta investigación) deben de abarcar aquellos que son relevantes para la comparación. Un costo o beneficio es relevante si es pertinente para una decisión. Si por ejemplo, colocándose en el contexto de mantenimiento carretero, deseamos evaluar la conveniencia de reemplazar el tramo de la cinta asfáltica, no es de interés el costo en que se incurre en su número de operarios, ya que con o sin proyecto de replazo este costo seguiría siendo el mismo. Es decir, el monto por los operarios en planilla, es irrelevante para tomar la decisión de reemplazar la cinta asfáltica de un tramo de carretera.

Siguiendo en la misma línea, es importante definir que el único costo que no debe ser considerado en la evaluación de un proyecto de análisis económico es el del estudio de viabilidad, ya que al momento de presentarse el estudio, aun cuando este no esté pagado, es un costo que haciéndose o no la inversión en el proyecto, igualmente se debe de asumir. Es por ello que se considera no relevante para el proceso de toma de decisión.

2. Tipologías de proyectos. Las alternativas de inversión se pueden agrupar en:

- Dependientes
- Independientes
- Mutuamente excluyentes

Las alternativas de inversión dependientes son aquellas que para ser realizadas dependen de una inversión previa. Tal y como lo ejemplifica Nassir, (2007:17) en *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*:

«El sistema de evaluación de residuos de una planta termoeléctrica que emplea carbón depende de que se haga la planta, mientras que esta última necesita de la evacuación de residuos para funcionar adecuadamente. En este caso se hablara de proyectos complementarios y lo más común será evaluarlos en conjunto»

Un caso particular de proyectos de naturaleza dependiente, sucede cuando más que por dependencia física se da por motivos de dependencia económica, es decir que el resultado combinado es mayor que la suma de los resultados de inversiones individuales. Del mismo modo puede ocurrir lo contrario cuando la combinación de dos inversiones puede generar un resultado inferior al que se obtendría si estas se realizarán de manera individual.

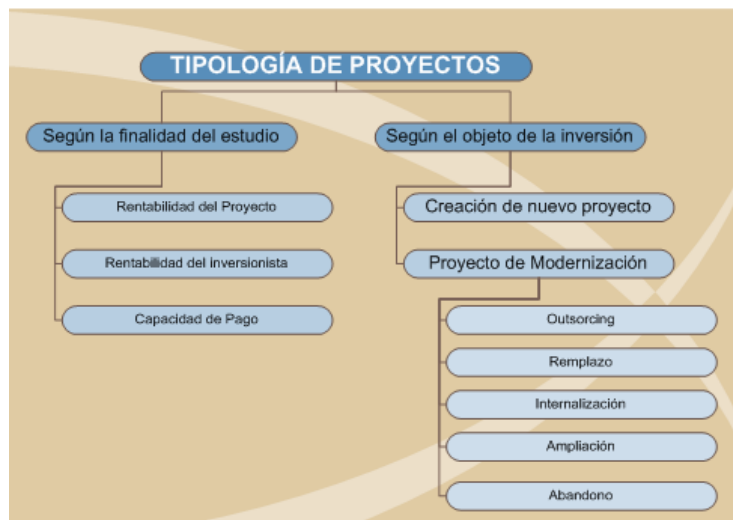
Las inversiones independientes son las que se pueden ejecutar sin que estas dependan o se vean afectadas por otro proyecto. Dos proyectos independientes pueden conducir a la decisión de realizar ambos, uno o ninguno de ellos.

Las inversiones mutuamente excluyentes por su parte son proyectos en los que aceptar una alternativa implica que se deje de hacer otra u otras alternativas.

Una primera clasificación de proyectos de inversión se realiza en función de la finalidad misma de esta inversión, es decir el propósito de la asignación de recursos que permita diferenciar entre proyectos que buscan la creación de una nueva inversión y proyectos que buscan evaluar una mejora o un cambio en un proyecto ya existente (lo que sucedería en el caso de proyectos de carreteras).

Dadas las condiciones descritas anteriormente se pueden definir los proyectos su tipología agrupándolos en dos grandes grupos: según la finalidad del estudio y según el objeto de la inversión. Al hablar de proyectos basados en la finalidad de su ejecución, podemos mencionar tres enfoques: rentabilidad del proyecto, rentabilidad del inversionista y capacidad de pago. Ahora bien, si el proyecto es objeto de inversión entonces podemos encontrar dos enfoques: creación de nuevo negocio y proyectos de modernización.

Ilustración 64: Esquematización de la tipología de un proyecto



3. Estudios de viabilidad. La decisión de emprender una inversión de capital en un proyecto o en la modificación de un proyecto actual obedece a cuatro componentes básicos como lo expresa Nassir (2007:21) en *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*:

- El decisor, puede ser un inversionista, financiera o analista;
- Las variables controlables por el decisor, que pueden hacer variar el resultado de un mismo proyecto dependiendo de quién sea él;
- Las variables no controlables por el decisor y que influyen el resultado de los proyecto; y
- Las opciones o proyectos que se deben evaluar para solucionar un problema o aprovechar una oportunidad de negocios.

La responsabilidad del evaluador de proyectos tiene como objetivo aportar el máximo de información para facilitar la toma de decisiones, para ello es indispensable delimitar todas las opciones y la viabilidad de las mismas y así obtener la óptima solución.

Para recomendar la aceptación de cualquier plan de inversión es necesario estudiar un mínimo de tres posibilidades que incidirán en el éxito o fiasco que incidirán en el resultado positivo o negativo en una inversión: la viabilidad técnica, la legal y la económica. Otras dos viabilidades no incluidas en un proyecto son la de gestión y la política. Por otra parte una viabilidad cada vez más exigida en los estudios y proyectos es la que mide el impacto ambiental.

Ilustración 65: Esquematización de los diversos estudios de viabilidad de los proyectos



La viabilidad técnica es aquella que tiene como función determinar si es posible física o materialmente ejecutar un proyecto. Por otro lado la viabilidad legal expresa el marco legal de regulaciones y normas establecidas para poner en marcha la ejecución del proyecto. La viabilidad económica es aquella que se encarga de establecer las relaciones costo beneficio que permiten sustentar de manera económica la inversión de capital. La viabilidad de gestión se refiere a la existencia de las capacidades gerenciales con las que se cuenta para lograr la correcta implementación y una acertada administración. Por último la viabilidad política busca definir la intencionalidad de quienes deben decidir de querer o no implementar un proyecto independientemente de su rentabilidad. Ahora bien es importante mencionar que la viabilidad ambiental no hace referencia a un estudio de impacto ambiental sino más bien esta busca determinar el impacto que la ejecución de un proyecto generaría sobre variables de entorno ambiental como lo son los efectos de la contaminación.

4. Etapas de un proyecto. Existen varias formas de clasificación de un proyecto. Para fines de este trabajo de investigación se definen cuatro etapas básicas:

- Definir la necesidad del proyecto
- Los estudios de pre inversión para medir la conveniencia económica de llevar a cabo el paso 1.
- La inversión para su implementación
- La puesta en marcha e implementación

La etapa de definir la necesidad del proyecto obedece a plantear las oportunidades de mejora en un proyecto, (para el caso de proyectos de mantenimiento vial es necesario establecer que efectivamente se requiere del mantenimiento mismo). Antes de evaluar la idea, ésta debe definirse con precisión, especificando el valor creado o añadido.

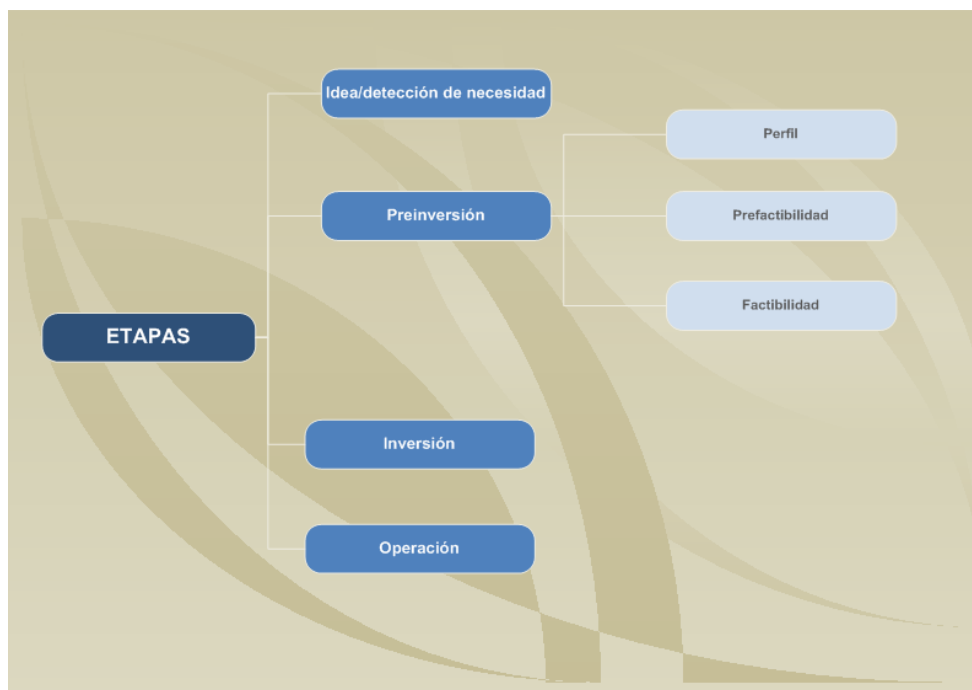
La segunda etapa contempla el estudio de la viabilidad económica de las diversas alternativas de solución identificadas para cada una de las ideas de proyectos, la que se puede desarrollar de tres formas distintas, dependiendo de la cantidad y calidad de la información considerada en la evaluación: perfil, pre-factibilidad y factibilidad. El estudio en nivel de perfil es el más preliminar de todos y se basa en información secundaria (promedios, estándares de costos, tasas, y registros de estadísticas). Su objetivo fundamental es por una parte determinar si existen antecedentes que justifiquen abandonar el proyecto sin siquiera efectuar mayores gastos en estudios que proporcione mayor y mejor información; y por otra reducir las opciones de solución, seleccionando aquellas que en un primer análisis pudieran aparecer como las más convenientes. Los niveles de pre-factibilidad y factibilidad son dinámicos; es decir proyectan costos y beneficios a lo largo del tiempo y lo expresan durante flujos de caja, en función de criterios previamente establecidos. En el nivel de pre-factibilidad se proyectan los costos y beneficios sobre la base de criterios cuantitativos, pero sirviéndose mayoritariamente de información secundaria. En factibilidad, la información tiende a ser demostrativa, recurriéndose principalmente a información tipo primario. La información primaria es la que genera la fuente

misma de la información. Por ejemplo, mientras el costo promedio del costo del metro cuadrado de construcción se usa a nivel de pre-factibilidad por ser un promedio o estándar, en factibilidad debe de realizarse un estudio detallado de cada uno de los ítems, para determinar la cuantía de los costos específicos de esa construcción en particular. (Nassir, 2007)

La etapa de inversión es aquella que contempla el proceso de ejecución del proyecto, en esta se concreta toda inversión previa a la ejecución del proyecto.

La puesta en marcha e implementación como su nombre lo indica es la etapa en la que se desarrolla el proyecto.

Ilustración 66. Etapas de un proyecto



5. El proceso de estudio del proyecto según Nassir (2007) en *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*. El estudio de la rentabilidad de una inversión busca determinar con la mayor precisión posible la cuantía de las inversiones, costos y beneficios de un proyecto para posteriormente compararlos y determinar la conveniencia de emprenderlos. La primera etapa se conoce como la formulación y preparación del proyecto, en donde la formulación corresponde al proceso de definición y

configuración del mismo. Mientras que la preparación es el proceso de cálculo y estructuración de los costos, inversiones y beneficios de la opción configurada. La segunda etapa corresponde a la evaluación del proyecto. (Nassir, 2007)

La preparación del proyecto busca cuantificar los comportamientos de los ingresos y egresos de un proyecto, sin embargo muchas veces el proyecto no está configurado de forma completa y ha de ser formulado previamente. Por ejemplo, si la localización no está definida, deberá estudiarse cuál de las opciones identificadas para la ubicación del proyecto es la más atractiva. El estudio de estas opciones a nivel de perfil es un procedimiento al que se recurre cuando se busca formular el proyecto, por cuanto reduce los escenarios sobre los que se puede materializar la inversión. (Nassir, 2007)

Una vez configurado el proyecto se estudian nuevamente y en forma más detallada los beneficios y costos asociadas a cada una de las variables seleccionadas, que al ser analizadas a nivel de perfil, no fueron las suficientemente profundizadas para cumplir con los niveles exigidos a la información en un estudio de pre-factibilidad o factibilidad. El resultado de la preparación de un proyecto es la construcción de un flujo de caja con la proyección en el tiempo de la estimación de la ocurrencia de los costos y beneficios vinculados a su implementación. (Nassir, 2007)

Las inversiones de un proyecto se pueden clasificar en dos grandes tipos: Aquellas que se realizan antes de la implementación del proyecto y las que se realizan durante su operación. Las primeras dan origen a lo que se denomina calendario de inversiones, el cual refleja detalladamente, con un presupuesto, la totalidad de las inversiones previas a la puesta en marcha del proyecto, en el momento en que ocurre cada una de ellas. El objeto de identificarlas en el momento más exacto en que ocurren es el poder incorporar el efecto del costo de capital que debe asumir por mantener inmovilizados recursos durante la etapa de construcción. Costo de capital es la tasa de retorno que como mínimo se le exige generar a la inversión requerida por el proyecto y que equivale a la rentabilidad esperada, a la que se renunciar por invertir en un proyecto económico de riesgo similar. (Nassir, 2007)

En algunos casos, la etapa de inversión puede durar varios meses incluso años. Durante ese período, los recursos invertidos devengan intereses financieros, si ellos son financiados mediante préstamos bancarios o generan un costo de oportunidad (ingresos dejados de percibir en otra posibilidad de inversión por tenerlos inmovilizados durante la etapa de construcción), si son financiados con recursos propios. Sin embargo, estos costos no deberían incluirse en el calendario de inversiones, ya que lo usual es que dicho flujo se capitalice calculando un valor futuro equivalente único de todas las inversiones a una tasa que incluye este costo. (Nassir, 2007)

Durante la operación del proyecto, las inversiones se producen tanto por la necesidad de reemplazo de algunos activos, como por tener que enfrentar el crecimiento o la ampliación de los niveles de operación. La

sustitución de activos se fundamenta en la vida útil esperada de ellos, la cual puede estimarse sobre la base de varios criterios. (Nassir, 2007)

La estimación de los costos del proyecto es también una tarea importante del estudio de viabilidad, tanto por su efecto en la determinación de su rentabilidad como por la variedad de elementos que condicionan su cuantía y pertenencia en la evaluación sean estos contables o no. Un costo contable es aquel que se refleja en los estados de pérdidas y ganancias de una empresa, con fines tributarios, mientras que un costo no contable es aquel que no va en los estados contables de la empresa pero que tiene impacto sobre la decisión, como lo es el costo de oportunidad de una inversión. Mientras que los costos contables son útiles para satisfacer los requerimientos legales y tributarios, los costos no contables buscan medir su efecto neto en el resultado de cada decisión. Incluso, hay costos de obvio significado para el análisis que no se obtienen de los estados contables, como los costos fijos a largo plazo y los de oportunidad, que no solo no pueden dejar de ser considerados en la decisión, sino que probablemente tendrán una influencia marcada en los resultados. (Nassir, 2007)

Para la toma de la decisión, entre proyectos que generen igual beneficio, será fundamental la diferencia entre los costos de cada alternativa. Estos costos, denominados costos diferenciales, expresan el incremento o disminución de los costos totales lo que implicaría la adopción de una u otra opción. (Nassir, 2007)

Los beneficios del proyecto están constituidos tanto por los ingresos operacionales proyectados como por los beneficios que, sin ser movimiento de caja, son parte de la riqueza del inversionista creado por el proyecto. (Nassir, 2007)

Muchas veces se debe evaluar un proyecto para una empresa en funcionamiento donde no hay ingresos relevantes, por ejemplo, la adquisición de sistemas computacionales, el reemplazo de un vehículo o el cambio de bodegas. En estos casos, los beneficios se asocian a los posibles ahorros de costos entre la alternativa de seguir con la situación existente (sin proyecto) y la situación con proyecto. Así, por ejemplo, es posible asociar la compra de computadoras con el ahorro de tiempo de los empleados y, por lo tanto, con una eventual reducción de personal y los ahorros de sueldos correspondientes; el reemplazo de un vehículo usado por otro nuevo podría reducir los costos anuales de mantenimiento y el uso de repuestos y el alquiler de nuevas bodegas podría permitir el ahorro de costos de fletes, si estas se localizan más cerca de la planta o de los consumidores. En todos estos casos el beneficio de hacer el proyecto no es un ingreso, sino el ahorro de costos. (Nassir, 2007)

La construcción del flujo de caja del proyecto genera diversas complicaciones al evaluador que no conoce ni aplica las distintas opciones que se presentan, dependiendo de la finalidad del estudio y la finalidad de la inversión. Como se mencionó anteriormente, desde el punto de vista de la finalidad del estudio se pueden construir hasta tres flujos distintos de caja: (Nassir, 2007)

- El que se hace con fines de calcular la rentabilidad de la inversión;
- El que se hace para determinar la rentabilidad del inversionista o de los recursos propios invertidos en el proyecto y
- El que se hace para medir la capacidad de pago del propio proyecto con los compromisos financieros asumidos en el financiamiento de la inversión.

Desde el punto de vista del objeto de la inversión, se debe elaborar un flujo de caja específico para medir la rentabilidad que se podría esperar con la creación de un nuevo negocio otro distinto para evaluar un proyecto para una empresa ya funcionando. En este último caso se podrá optar entre dos procedimientos para el análisis; construir y comprar un flujo de caja para la situación sin proyecto con otro para la situación con proyecto, o confeccionar un flujo de caja incremental. (Nassir, 2007)

La evaluación pueden expresarse de muchas formas distintas: en unidades monetarias, como una relación o índice, como un porcentaje o como el tiempo que demora la recuperación de la inversión, entre otras. Los principales criterios de evaluación son (Nassir, 2007):

- El valor actual neto, conocido como VAN, que mide en valores monetarios los recursos que aporta el proyecto por sobre la rentabilidad exigida a la inversión y después de recuperada toda ella;
- La tasa interna de retorno, conocida como TIR, que mide la rentabilidad de un proyecto como un porcentaje y corresponde a la tasa que hace el valor actual neto igual a 0;
- El período de recuperación de la inversión, PRI, que mide en cuánto tiempo se recupera la inversión, incluido el costo del capital involucrado; y
- La rentabilidad inmediata, RI, que determina el momento óptimo para hacer la inversión.

Una forma alternativa a estos métodos llamados tradicionales para medir la conveniencia de realizar una inversión, la constituye el análisis del proyecto, tal como se hace con una opción real.

La evaluación del proyecto cualquiera sea el método utilizado, considera, para calcular la rentabilidad de la inversión, la ocurrencia de hechos futuros y estima los costos y beneficios futuros en uno solo de entre muchos escenarios posibles. No obstante, dada la imposibilidad de prever con exactitud el comportamiento de las variables que condicionan la rentabilidad calculada, es conveniente agregar información que contribuya a tomar la decisión por parte de agentes involucrados tan distintos como el inversionista que arriesga su capital, el financista que presta recursos y el gerente o el ejecutivo que administra recursos de accionistas, entre muchos otros. Cada uno de ellos observa el resultado del estudio de proyectos desde muy diversas perspectivas, por cuanto entre ellos hay expectativas, grados de aversión al riesgo e informaciones distintas que obligan a buscar una solución que satisfaga los requerimientos de todos ellos.

Existen principalmente tres elementos que explican el fracaso de algunos proyectos (Nassir, 2007):

- La imposibilidad de la predicción perfecta que debe intentar hacer el evaluador sobre cada uno de los componentes de sus beneficios y costos.
- La no participación del evaluador en la administración del proyecto, la que puede ser enfrentada con estrategias de negocio diferentes de las previstas o que la gerencia reaccione a cambios de distinta forma de la prevista en cualquier análisis de sensibilidad; y
- Los errores conceptuales en que incurren algunos evaluadores, ya sea por desconocimiento del instrumental teórico o por considerar sólo algunas opciones metodológicas que ofrece el marco conceptual disponible.

En general, los modelos de sensibilización muestran el grado de variabilidad que puede exhibir o resistir, dependiendo del modelo utilizado, uno o más de los componentes del flujo de caja. La teoría ofrece, a este respecto, dos modelos distintos para efectuar el análisis de sensibilidad: uno que calcula qué pasa con la rentabilidad del proyecto si cambia el valor de una o más variables incluidas en la proyección (una variación de este modelo mide la rentabilidad en tres escenarios distintos: el normal, que corresponde al flujo original del proyecto, uno optimista y otro pesimista); y otro que busca determinar hasta dónde resistiría un proyecto que modifique el valor de esta variable, es decir, el punto límite para que se obtenga únicamente la rentabilidad deseada después de recuperar la inversión. (Nassir, 2007)

Frente a la imposibilidad de disponer de técnicas que aseguren la predicción perfecta y la de transformar este texto en un de administración de proyectos, se profundizan las análisis de opciones conceptuales para solucionar los problemas de cálculo de la rentabilidad y el análisis optimizante de proyectos. (Nassir, 2007)

D. Análisis y evaluación financiera

El concepto financiero es un aspecto insoslayable en la evaluación de cualquier proyecto independiente a su naturaleza. El seguimiento económico forma parte de toda formulación y evaluación de un proyecto y ha de ser considerado como un aspecto clave para la toma de decisiones, en consecuencia la factibilidad y viabilidad de un proyecto, ha de ser respaldado en gran medida por los resultados de carácter económico-financiero. Los proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras no son la excepción, es por ello que un enfoque de estas características es más que justificable en cualquier estudio que lleve asociado algún tipo de proyecto que este asociado a una inversión. Y es que mientras la evaluación de un proyecto pareciera que es un proceso sencillo de determinar la rentabilidad del mismo, es preciso ejecutar un análisis minucioso de todos aquellos aspectos relevantes que permitan determinar la mejor decisión.

Del mismo modo, la evaluación de un proyecto, es parte ineludible de todo proceso de implementación de cualquier acción a ejecutar, tal y como sucede con los proyectos de carreteras, estos no pueden emprenderse de manera descuidada. Por ello, para evaluar la conveniencia de un proyecto de esta naturaleza es preciso demostrar que los incrementos en los costos son menores a los incrementos en los beneficios.

La ingeniería económica es un punto medular en la toma de decisiones, estas decisiones por lo general son el resultado de elegir entre varias posibilidades a selección sobre cómo invertir con mejor criterio el capital disponible, el cual casi en la totalidad de la ocasiones es un monto finito o restringido. Tal y como lo expresa Tarquín Blank (2002:6) en *Ingeniería Económica*.

«La decisión sobre cómo invertir capital indudablemente cambiara el futuro, con esperanza de mejorar, es decir, se agregará valor».

Conociendo lo anterior, es de suponer que cualquier proceso de evaluación económica para el desarrollo de carreteras en el país esta previamente definido, sin embargo, conociendo el peso que el carácter económico juega en todo proceso de ejecución de proyectos, surge la necesidad de efectuar un análisis minuciosos de cuales son dichos parámetros ya definidos buscando determinar puntos de mejora y procurando aplicar conceptos y técnicas más recientes, orientados a obtener mejores resultados de los cuales se puedan estimar mayores beneficios.

En toda estimación financiera, hay elementos esenciales que forman parte de los mismos, tales como los flujos de efectivo, el tiempo de ocurrencia y las tasas de interés. Así mismo, es preciso mencionar que todo cálculo de alternativas de selección se fundamenta en el estudio del cambio del valor del dinero en el tiempo.

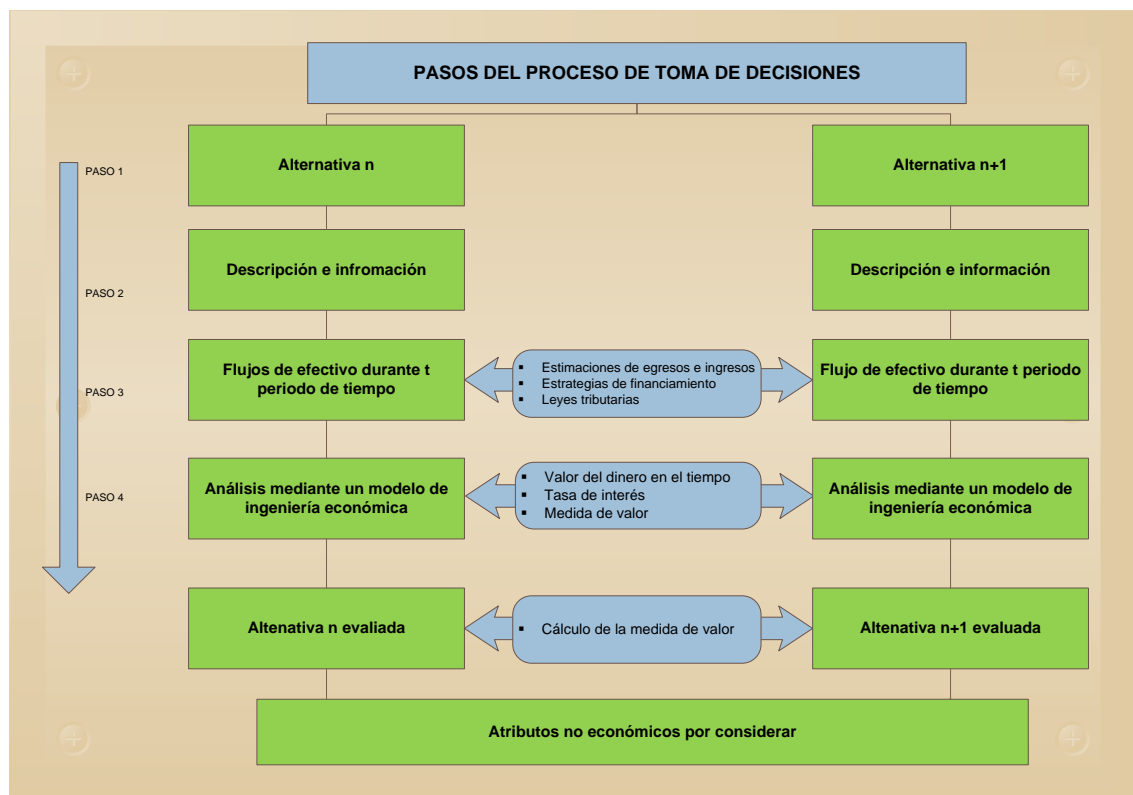
1. Realización de un estudio de ingeniería financiera. Un estudio de ingeniería económica se puede expresar de diversas maneras; ya sea un estudio de asignación de capital, análisis económico, toma de decisiones económicas y análisis de ingeniería financiera, constituyen sinónimos que contemplan el mismo procedimiento.

Un estudio de ingeniería económica parte del paso inicial que consisten en identificar un problema y la definición de un objetivo. Para que un estudio de esta naturaleza pueda ser sustentado, es preciso analizar más de una alternativa (mínimo 2) hasta n posibilidades.

a. Las alternativas en un proyecto. Las alternativas son las diversas opciones de las que un individuo puede optar para la ejecución de proyecto, no está de más mencionar que dicha selección será basada en orden a la que dote de mejores resultados al evaluador y al proyecto mismo. Algunos de los parámetros que se utilizan para la elección de estas alternativas son: costo inicial, vida útil, ingresos y egresos anuales estimados, valor de salvamento, tasas de rendimiento.

b. Flujos de efectivo. Las entradas o ingresos y salidas o costos /gastos de dinero reciben el nombre de flujo de efectivo. Todo proceso de selección de alternativas así como el desarrollo de las mismas debe de abarcar de manera automática estimaciones de flujos de efectivo. Sin estimaciones de flujos de efectivo es imposible efectuar un análisis de asignación de capital.

Ilustración 67: Pasos para la toma de decisiones



Tal y como se mencionó anteriormente, los flujos de efectivo constituyen las entradas y salidas de dinero, es decir, los ingresos y egresos para el proyecto. Las entradas y desembolsos son parte indispensable de todo proyecto. Es por ello que para propósitos del curso se ha establecido como

convención que cualquier entrada de dinero sea positiva (+) y cualquier desembolso tenga connotación negativa (-)

Algunas entradas de efectivo típicas son:

- Ingresos
- Reducciones en los costos de operación
- Valor de recuperación o de salvamento
- Recepción del principal de un préstamo
- Ingresos por ventas y acciones
- Ahorros en los costos
- Ahorros o rendimiento en los fondos de capital.

Por otra parte algunos ejemplos típicos de salidas de efectivo se muestran a continuación:

- Costo por adquirir activos
- Costo de diseño de ingeniería
- Costo de operación
- Costo de mantenimiento y/o renovación.
- Pagos de interés y del principal del préstamo
- Costo de actualización
- Impuestos
- Gastos de fondo de capital.

Habiendo definido el concepto de las entradas y salidas de dinero, las cuales constituyen los flujos de efectivo, es preciso hacer referencia a un flujo de efectivo neto. El flujo de efectivo neto no es más que las entradas de efectivo menos los desembolsos.

Debido a que los flujos de efectivo tienen lugar en diversos puntos en una línea del tiempo, dentro de un rango de interés, se adopta un supuesto que simplifica en buena medida el análisis financiero:

La convención del final del periodo implica la suposición de que todos los flujos de efectivo ocurren al final de un periodo de interés. Si varios ingresos y desembolsos se llevan a cabo en un periodo de interés determinado, se da por supuesto que el flujo de efectivo neto ocurre al final del periodo de interés. (Tarquín, 2002)

c. **Factores financieros.** Puesto que el valor del dinero en el tiempo cambia, es necesario definir como calcular los montos de dinero a través del tiempo, para ello se han establecido una serie de factores según la necesidad que se desea evaluar. A continuación se muestra el detalle de los diversos factores que constituyen el paso inicial al momento de evaluar alternativas en un proyecto.

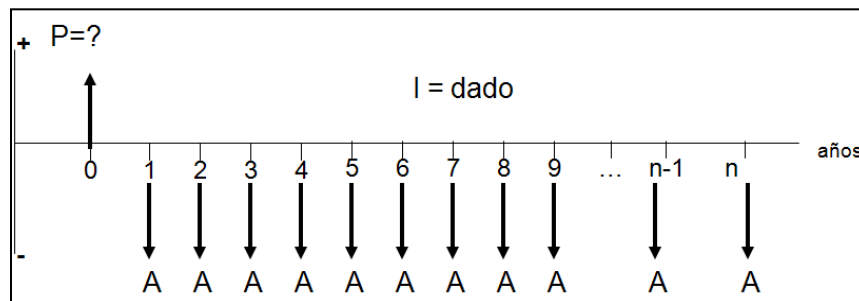
1) **Factores de Pago Único.** Para obtener la equivalencia de un valor presente a un valor futuro se utiliza el factor F/P o Factor de cantidad compuesta de pago único: donde F es igual al valor futuro y P valor presente.

$$F = P(1 + i)^n$$

2) **Factores de Valor Presente y de recuperación de capital en series uniformes.** Una anualidad es una serie de pagos que cumple con las siguientes condiciones:

- Todos los pagos son de igual valor.
- Todos los pagos se hacen a iguales intervalos de tiempo.
- Todos los pagos son llevados al principio o al final de la serie a **la misma tasa.**
- El número de pagos debe ser igual al número de periodos.

Ilustración 68: Representación de un flujo de efectivo por anualidades



3) **Factor de Valor Presente de Serie Uniforme (FVPSU) o factor P/A,** donde A es anualidad, i es interés y P valor presente.

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

$$i \neq 0$$

4) Factor de Recuperación de Capital (FRC) o factor A/P:

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Estas fórmulas se derivan con el valor presente P y la primera cantidad anual uniforme A, con un periodo de diferencia. Es decir, el valor presente P siempre debe localizarse un periodo antes de la primera A.

5) Factor de Fondo de Amortización o (A/F)

$$A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$A = F(A/F, i, n)$$

6) Factor de Cantidad Compuesta Uniforme o (F/A)

$$A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$A = F(A/F, i, n)$$

Despejar para F

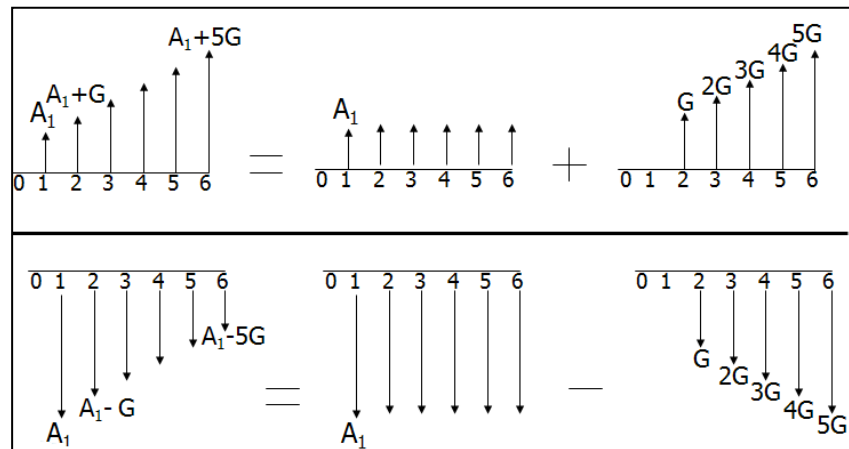
7) Factores de Gradiente Aritmético (P/G y A/G)

$$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{I} \right]$$

$$F = A(F/A, i, n)$$

Es una serie de flujos de efectivo que aumenta o disminuye en una cantidad constante. Así mismo se define gradiente “G” al cambio aritmético constante en la magnitud de los ingresos o desembolsos de un periodo al siguiente. Puede ser positivo o negativo. Por último es importante mencionar que la cantidad del año 1 es una cantidad base, y no forma parte de la serie del gradiente. El gradiente inicia entre los años 1 y 2.

Ilustración 69: Descomposición de un flujo de efectivo de gradiente G

8) Factor P/G para el valor presente

$$(P/G, i, n) = \frac{(1+i)^n - in - 1}{i^2(1+i)^n}$$

9) Factor A/G para serie anual

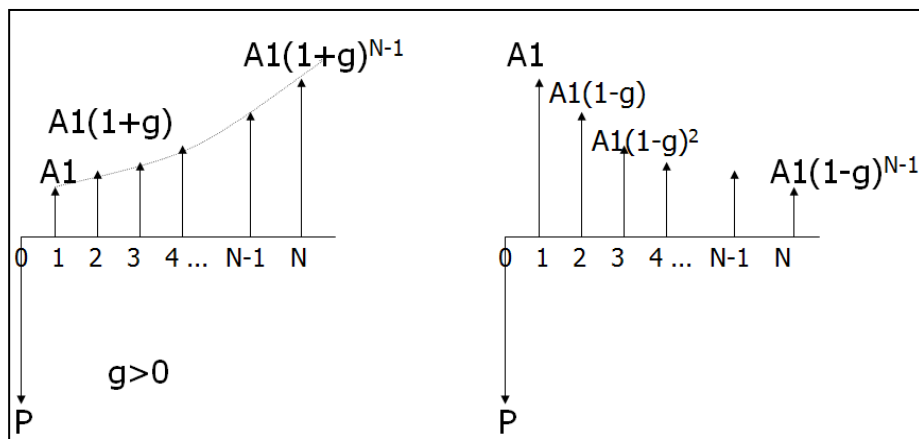
$$(A/G, i, n) = \frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1}$$

10) Factor F/G para el valor futuro

$$(F/G, i, n) = \left(\frac{1}{i}\right) \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} - n \right)$$

11) Factores de gradiente geométrico. Se utiliza cuando los flujos de efectivos disminuyen o aumentan de un periodo a otro mediante un porcentaje constante. Así mismo se utiliza el término “g” que se define como la tasa de cambio constante, en forma decimal, mediante la cual las cantidades aumentan o disminuyen de un periodo al siguiente. La serie inicia en el año 1 a una cantidad inicial A_1 , la cual no se considera una cantidad base. Por último, es preciso mencionar que los cambios de precio debido a la inflación son un ejemplo de estas series geométricas.

Ilustración 70: Representación de un flujo de efectivo de gradiente geométrico



d. Factor para el valor presente dado el gradiente geométrico

$$Pg = A_1(P/A, g, i, n)$$

$$(P/A, g, i, n) = \begin{cases} \frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+i}\right)^n}{i - g} & g \neq i \\ \frac{n}{1+i} & g = i \end{cases}$$

E. ASPECTOS INTRODUCTORIOS PARA UN PROYECTO DE CARRETERAS

Elaborar un manual que presente una metodología concisa del procedimiento a efectuar para evaluar proyectos de construcción de carreteras, implica un esfuerzo general por tratar de abarcar las diversas metodologías ya existentes. Es importante mencionar que dada la naturaleza del proyecto, la construcción de carreteras son proyectos gestados en buena medida por financiamiento público, y una mínima parte por esquemas de asociación público-privada. Es por ello que ahondar en como evaluar la viabilidad de un proyecto financiado por el estado es claramente justificable. Dada la naturaleza social de este tipo de proyectos, diversas instituciones y organismo internacionales (*Banco Mundial BM, Banco Interamericano de Desarrollo, BID, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD*, entre otros) han desarrollado diversos procedimientos de manera independiente de cómo efectuar dichos estudios, sin embargo, con el propósito de complementar la información ya existente en los *Manuales de Construcción de carreteras de la Secretaria de Integración Centroamericana*, se pretende desarrollar una metodología que aglutine de manera adecuada las diversas metodologías.

Descrito lo anterior es preciso mencionar que la metodología presentada a continuación abarca los estudios de viabilidad a nivel de pre factibilidad. Es así como a continuación se desarrolla una solida metodología para evaluar proyectos de construcción de carreteras de financiamiento público a nivel de pre factibilidad incorporando distintos procedimientos ya elaborados de forma independiente por diversos organismos internacionales.

Es importante primero considerar las diferentes etapas del ciclo del proyecto, en donde una de ellas es la pre factibilidad y la siguiente es la factibilidad que para el caso de proyectos viales este corresponde a los Estudios de Factibilidad Técnica, Económica, Ambiental, Social e Ingeniería de Detalle.

Los estudios de pre factibilidad se realizan como parte de la planificación de los proyectos y están orientados principalmente para justificar la búsqueda de financiamiento, que para nuestro caso frecuentemente se recurre a los préstamos externo y en tal sentido es necesario presentar al Organismo Financiero, los estudios de pre factibilidad de los proyectos que se pretenden incluir en el préstamo a gestionar o por lo menos exigen los perfiles de proyecto, aunque en algunos casos cuando ya se tienen los estudios de factibilidad, es mucho mejor.

En el fondo los estudios de factibilidad tienen el mismo contenido, pues deben incluir una descripción clara del proyecto, dimensionamiento o alcances del proyecto, estimación de los renglones y cantidades de trabajo que permitan estimar el costo de la obra, demanda (tránsito),

análisis de rentabilidad, población beneficiada, análisis de aspectos ambientales y sociales, es decir lo que los libros de texto indican que debe contener este tipo de estudio, pero obviamente relacionado con carreteras; la diferencia más bien está en lo relacionado a los procedimientos de gestión de un préstamo, pues para ello se deben cumplir con los procedimientos y fases que indican las normas de cada Organismo Financiero Internacional.

Los organismos financieros con que normalmente trabaja el país al momento de buscar financiamiento de proyectos viales, son: *El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, BIRF*, *el Banco Interamericano de Desarrollo, BID*, *el Banco Centroamericano de Integración Económica, BCIE*, *la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional, JICA*, *El Banco Alemán de Cooperación Internacional, KFW* y actualmente se está trabajando con fuentes financieras como Taiwán y Brasil; estos organismos financieros se dividen en multilaterales, como los primeros o bilaterales, como los segundos, en donde la relación es de país a país.

Los estudios de pre factibilidad, muy frecuentemente son financiados como cooperación técnica no reembolsable, por los propios Organismos Financieros y para ello, bien contratan empresas en sus países de origen o bien contratan a empresas locales; actualmente en la *Dirección General de Caminos, DGC*, muy pocos estudios de pre factibilidad realiza por administración, pues como la mayor parte de sus actividades las realiza mediante la contratación de empresas privadas y únicamente se encarga de la revisión y aprobación de los estudios.

La *DGC* tiene varios ejemplos de este tipo de estudios y pueden ser consultados internamente en sus oficinas, específicamente en la División de Planificación y Estudios.

Cuando se dispone de financiamiento, ya sea éste con fondos nacionales o provenientes de un préstamo, la *DGC* saca a licitación la realización de los estudios a detalle de cada proyecto y aquí el procedimiento varía si es financiamiento nacional o externo y en este último, hay variaciones principalmente en los procedimientos de contratación (que son definidos en los términos de referencia para la contratación), dependiendo de cada Organismo, pues como se indicó, deben cumplir con las normas de los bancos y además que esto no contravenga la legislación nacional.

De modo que, se reitera, la metodología del estudio en sí, es básicamente la misma, lo que varía es el procedimiento de contratación, dependiendo de la fuente de financiamiento y en caso de financiamiento externo, dependiendo el Organismo Financiero.

Expertos institucionales concedores del tema han establecido que la aplicación práctica que podría tener un estudio como el que aquí se presenta ya que al establecer una metodología de trabajo para la evaluación de este tipo de proyectos se facilitan los procedimientos, pues como comentan, actualmente la *DGC* realiza constantemente estos procedimientos, pero los mismos no

están normalizados en una especie de manual de diseño de carreteras o gestión de financiamiento que podría ser muy útil, tanto para su aplicación práctica por instituciones gubernamentales como un aporte académico.

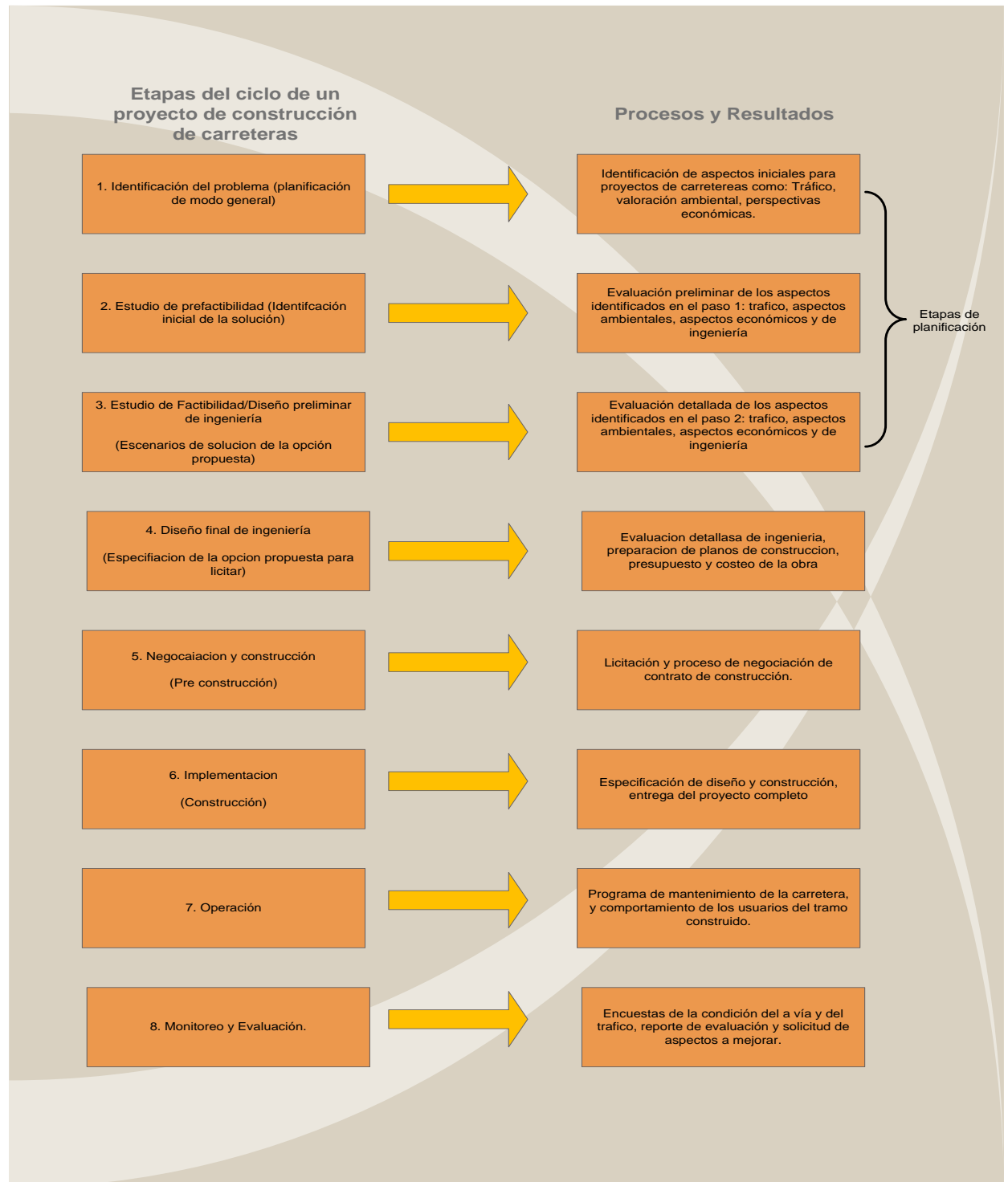
1. El ciclo de proyectos. Un proyecto, sin importar su fuente de financiamiento o su objetivo de elaboración debe de ser visto como un proceso cíclico, compuesto de varias etapas: (Overseas Road Note 5: a guide to road Project appraisal, 2005)

- Identificar el problema
- Estudio de pre factibilidad
- Estudio de factibilidad
- Diseño
- Adquisiciones y negociación
- Implementación
- Operación o funcionamiento
- Evaluación

Cada una de estas etapas surge de manera progresiva y secuencial al momento de gestar un proyecto. Las primeras tres etapas se complementan en un proceso más general conocido como planificación, en esta etapa es característico definir las alternativas o escenarios posibles de ocurrencia para el proyecto en cuestión. Esta etapa es sumamente importante ya que una correcta planificación permitiría definir si es preciso detener el estudio de viabilidad del proyecto o bien proseguir con el mismo, de hecho, es justamente uno de los principios fundamentales del porque efectuar un análisis de pre factibilidad antes de un estudio de factibilidad, y es que el estudio de pre factibilidad determina con información no a detalle si es viable efectuar una investigación de mayor nivel de detalle, como lo es un análisis de factibilidad. En otras palabras lo que se busca es no incurrir en costosos análisis de factibilidad cuando desde una acercamiento inicial se comprueba que no es preciso continuar con la evaluación.

A continuación se muestra un recuadro, en el que se muestran el ciclo de un proyecto explícitamente de construcción de carreteras.

Ilustración 71: Etapas de un ciclo de proyecto PARA proyectos viales



El definir qué situación se pretende desarrollar para satisfacer una necesidad presentada consiste en uno de los primeros aspectos a desarrollar en cualquier proceso de planificación de un

proyecto. En proyectos como la construcción de carreteras es imprescindible delimitar las restricciones del transporte, así mismo es necesario definir cuáles son las soluciones propuestas para el proyecto y de modo consecuente estas podrían priorizarse en función de la urgencia de su resolución. De modo que las necesidades para el desarrollo de proyectos de carreteras merecen ser examinadas en un amplio entorno socio-económico.

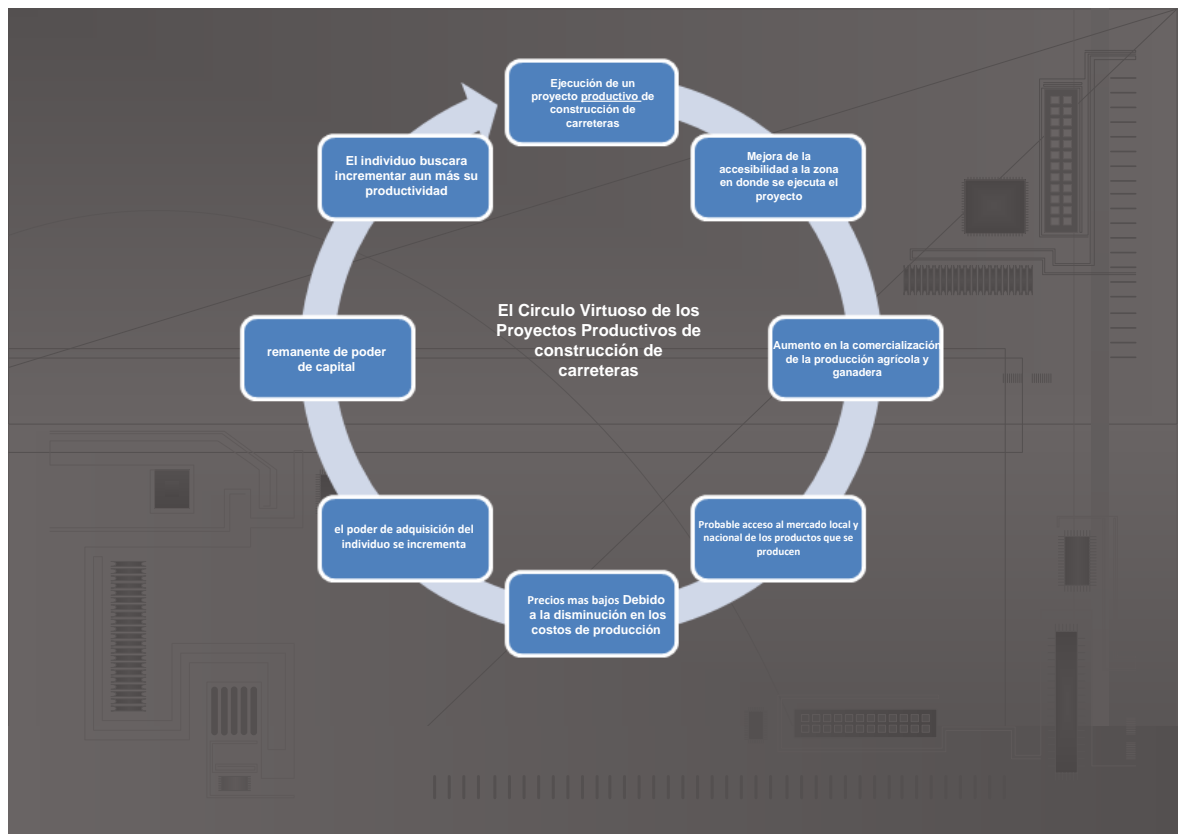
2. Las alternativas. Todo proyecto al momento de evaluar su pre factibilidad o factibilidad es sometido a una evaluación en el que se comparan diversos escenarios. A pesar de que el escenario puede ser solamente uno, siempre existe la posibilidad de un escenario considerado como el de "No hacer nada" que es lo mismo a una opción de "Sin proyecto" Lo anterior implica que las bases para evaluar un proyecto han de ser concretadas desde su inicio siendo cada una de las alternativas una potencial solución al problema del proyecto que está siendo evaluado. En proyectos de construcción de carreteras, dada las características propias de este tipo de proyectos, en los cuales la viabilidad se reduce a determinar si los beneficios son mayores a los costos al construir un tramo vial. En consecuencia las circunstancias a evaluar a medida que avanza el tramo de construcción pueden no ser las mismas, por lo que una buena aproximación es evaluar el tramo en diversas alternativas, cada una representada por un fragmento del tramo, es decir subdivisiones y efectuar la evaluación por subdivisión que se realice. No está demás mencionar que dicha subdivisión ha de estar plenamente justificada ya sea por condición económica, geográfica, social o física.

3. Proyectos viales. En este apartado se deja de analizar las generalidades de cualquier proyecto de tipología vial, en este tipo de proyectos, la construcción y mantenimiento de carreteras son aspectos elementales a evaluar. Tal y como cualquier proyecto, estos deben de ser justificados y deberán de buscar satisfacer una necesidad. Al hablar de proyectos de construcción de carreteras se puede hacer referencia al área en donde se localizará el tramo por evaluar. Para ello este tipo de proyectos se puede clasificar en dos tipos, dependiendo de la zona de influencia en donde se desarrollará:

- Proyectos productivos
- Proyectos con altos y medianos volúmenes de tráfico

a. Proyectos productivos. Se denomina proyectos productivos a todos aquellos proyectos de construcción de carreteras que se ejecutan en zonas de poca accesibilidad, lo que dificulta la comercialización de la producción, en consecuencia se limita el intercambio tecnológico que permitiría incrementar la productividad de los cultivos y áreas sembradas aledañas a la zona en donde se pretende llevar a cabo el proyecto. La importancia en la ejecución de este tipo de proyectos yace en que una vez concretado este, se lograra una mejora sustancial del camino actual, lo que conlleva una mejora en la accesibilidad, esto a su vez conlleva otro efecto positivo ya que como resultado de la mejora del acceso a la zona se dará un aumento en la comercialización de la producción agrícola y ganadera, esto implicará un probable acceso al mercado local y nacional de los productos que se producen, del mismo modo se obtendrá un incremento en los excedentes del productos que se verán reflejados en precios más bajos, debido a la disminución en los costos de producción. Una vez reducidos los costos de producción el poder de adquisición del individuo se incrementa, por lo que con este remanente de poder de capital el individuo buscara incrementar aún más su productividad. Permitiendo un autentico círculo virtuoso de desarrollo.

Ilustración 72: Círculo Virtuoso de los llamados proyectos productivos en la construcción de carreteras



Es dado ese círculo virtuoso de incremento a la productividad que se obtiene al desarrollar proyectos de construcción de carreteras en este tipo de zona de influencias que se les cataloga como proyectos productivos. Esta cadena de procesos, da como resultado que la población circundante al tramo construido experimente un incremento en el nivel de vida, que producen incrementos progresivos en el nivel empleo, educación y salud.

b. Proyectos con altos y medianos volúmenes de tráfico. La otra forma de evaluar los proyectos de construcción de tramos viales se denomina como proyectos con altos y medianos volúmenes de tráfico, en sentido opuesto al inciso anterior en este tipo de proyectos ya existe una urbanización primaria en donde se desea ejecutar el tramo, el acceso a las zonas de influencia ya se encuentra previamente establecido por proyectos anteriores, en consecuencia, el círculo virtuoso del que se hablo para los proyectos productivos ya se dio en el mas de alguna ocasión. Es por ello que para esta tipo de proyectos los beneficios que se buscan percibir son distintos; mayor flujo vehicular, disminución de paradas y arranques por parte de los usuarios del tramo, mayores rangos de velocidad, menores consumos de combustible y costos de operación vehicular y los costos por accidentes son tan solo algunos de los incentivos que se generan con este tipo de proyectos.

Es importante mencionar que para estos proyectos la importancia de preceder a la etapa de pre-factibilidad y posteriormente de factibilidad radica en el hecho de que la posibilidad de múltiples escenarios probables como la mejor solución a ejecutar es mucho mayor que para proyectos ejecutados una sola vez , aunque con cuantificación de beneficios mucho más ajustados entre las diversas alternativas, ya que los beneficios no parecen ser tan evidentes tal y como ocurre cuando se construye un tramo que genera accesibilidad por primera vez a una zona.

4. El peso de los estudios de pre-factibilidad. Un estudio de pre factibilidad incide en la toma de decisiones para efectuar un estudio más detallado, denominado estudio de factibilidad, es por ello que en esta etapa de estudios de proyectos, a pesar de que la investigación se efectúa con información general, los alcances para los que fue concebido este tipo de estudios son muy importantes, ya que en esta etapa se busca definir si es viable ahondar en un estudio mucho más específico (estudio de factibilidad) que generalmente requiere una inversión monetaria grande o si definitivamente no vale la pena continuar el proceso de planificación.

5. Metodologías para evaluar proyectos. Un proyecto de construcción de carreteras puede ser evaluado mediante tres esquemas, según su financiamiento: financiamiento privado, esquemas de asociación público-privado y financiamiento público. Dadas las características del país esquemas de asociación público privados y financiamiento privado son relativamente situaciones escasas, ya que en gran proporción los financiamientos provienen del sector público.

Es por ello que en la presente investigación se ahonda en como evaluar los proyectos de construcción de carreteras con fuentes de financiamiento público. Existen diversas metodologías para evaluar dichos proyectos desde la perspectiva social, cada uno con diferencias significativas en el método utilizado para cuantificar los costes y beneficios del proyecto.

Entre dichos mecanismos para evaluación se encuentran las siguientes metodologías: Excedente del Consumidor, Excedente del Productor y el Incremento del Valor Agregado o el Valor Incremental de los beneficios Netos. A continuación se muestra una tabla en la que se define según la naturaleza del proyecto.

Tabla 61: Tipo de Evaluación a desarrollar según el tipo de proyecto vial

Tipo de Proyecto Vial	Tramo Troncal		Tramo Colector		Tramo Vecinal
	Principal	Secundaria	Principal	Secundaria	
Construcción Nueva	E.C	E.C	E.C	E.C o E.P	E.P
Rehabilitación y mejoramiento	E.C	E.C	E.C	E.C o E.P	E.P
Reconstrucción	E.C	E.C	E.C	E.C o E.P	E.P
Mantenimiento	E.C	E.C	E.C	E.C o E.P	E.P

*E.P= Excedente del Productor & E.C= Excedente del Consumidor

6. Identificación y definición de un proyecto de carretera (a nivel de pre factibilidad). Antes de iniciar con la evaluación económica de un proyecto de carreteras, es necesario definir la situación actual, este diagnóstico inicial es fundamental ya que permite apreciar claramente el problema, la necesidad o cualquier problema particular que se pretende satisfacer con la implementación de un proyecto vial.

Un estudio de diagnóstico deberá considerar dos aspectos: por un lado un alto nivel de descripción, es decir, deberá mostrar todo elemento que demuestre de manera sustancial la existencia de un problema o necesidad. Y segundo, un diagnóstico requiere ser explicativo, esto quiere decir que el análisis de la situación deberá de ser realizado de tal forma que se comprendan las causas que propician así como las relaciones internas presentes con otras zonas o sectores al del proyecto.

Para efectuar dicha "radiografía" inicial existen diversas técnicas que facilitan su elaboración, aunque su aplicación dependerá de las particularidades de cada proyecto a evaluar. En términos generales es posible aplicar un modelo tradicional que contempla el siguiente procedimiento tal y como lo expresa *El Manual para la elaboración de Estudios de Pre-factibilidad y Factibilidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua (2008)*:

- Definir la muestra, población y universo del estudio.
- Formular una hipótesis que puede ser aceptada o rechazada posteriormente.
- Definir una muestra representativa al universo del proyecto vial por estudiar.
- Definir los indicadores a medir y como se cuantificaran.
- Efectuar la recolección de información mediante diversas metodologías: encuestas, entrevistas, conteos de flujos vehiculares, lugares destino, lugares fuente etc.
- Procesar y analizar la información
- Interpretación de los resultados procesados.
- Delimitar la situación actual.

7. Detección de necesidades. Los diagnósticos de la condición actual se justifican en las necesidades que posea una comunidad, o un sector poblacional específico. Las carencias que se materializan en diversos aspectos tales como desarrollo limitado y economías de escasez general son necesidades que deben de ser captadas por los evaluadores de un proyecto. Dado que en proyectos viales de orden público el financiamiento proviene del estado, deberán de ser las mismas autoridades y funcionarios los que deberán tener la obligación de estar informados sobre lo que acontece en las diversas localidades o zonas de influencia (se explican en el siguiente apartado) es por ello que surge la necesidad de efectuar de modo permanentes diagnósticos que permitan mantener actualizadas a las autoridades.

La construcción o mantenimiento de carreteras son tan solo parte de los aspectos de un proyecto vial que se encuentran presentes en el día a día, debido por la necesidad de traslado de los individuos ya sea por motivos de educación, laborales, de salud, de esparcimiento o del simple traslado de un punto productivo hacia un destino de consumo. Del mismo modo, las carreteras son fuente de fatalismos y accidentes, muchos de los cuales podrían ser evitados en buena medida con la ejecución de proyectos viales, como el mejoramiento de los tramos, la señalización de las vías con demarcaciones y señalamientos adecuados. Tal y como se expresa en el Manual para realizar estudios de pre factibilidad y factibilidad del Ministerio de transporte e Infraestructura. (2008:16)

«La oferta de adecuadas carreteras es un derecho muy apreciado por la población en general»

Algunas de las necesidades traducidas a problemas más fácilmente detectados por los usuarios de los tramos carreteros son: problemas de congestionamiento y demoras constantes como consecuencias, altos niveles de estrés, altos índices de accidentes, deterioro de los vehículos por el mal estado de las carreteras, lentitud del transporte de carga, dificultades para conducir velocidades optimas y constantes, altos costos de operación por los largos periodos de permanecer en calidad de conductor. Son tan solo algunas de las necesidades detectadas con mayor frecuencia para las distintas carreteras.

8. Análisis de causa y efecto. Frente a los problemas detectados y explicadas anteriormente, corresponde tratar de definir el porqué de su ocurrencia, determinando cuales son las principales variables que inciden en estos. Para ello es elemental determinar los elementos comunes de la población y que actividades se ven perjudicadas. En otras palabras un análisis de causa y efecto de las necesidades detectadas.

El principal problema, al que se puede enfrentar el evaluador al momento de efectuar dicho análisis es que en muchas ocasiones no se cuenta con el detalle estadístico requerido, mientras que en otras este no es de la confiabilidad exigida. Si el caso es el mencionado, la única alternativa es proceder a recabar información estadística que satisfaga el nivel de confianza requerido.

Lo más importante en un análisis de causa y efecto es partir de la premisa que cualquier problema no surge de manera espontánea, siempre hay uno o más agentes que lo provocan ya sea de forma intencional o causal. La experiencia alcanzada con el paso de los años en la evaluación de proyectos viales, ha logrado detectar tres tipos de causas básicas en este tipo de proyectos:

a. Estructurales: Se manifiestan cuando el tramo construido ha cumplido su ciclo de vida útil, para este tipo de proyectos generalmente el periodo oscila entre los 20-30 años.

b. Institucionales o de gestión: suceden cuando la administración del proyecto ha sido ejecutada de modo incorrecto, entre las más comunes destacan:

1) Fallas en la inspección del uso de las vías. La utilización de estas por vehículos que superan el peso permisible de los tramos carreteros por ejemplo.

2) Los agentes encargados de la administración del proyecto después de ser implementado, no destinan los recursos adecuados para el mantenimiento de los mismos.

Tal y como ocurre con el establecimiento de las causas, es necesario analizar del mismo modo los efectos que estos conllevan. El Manual para realizar Estudios de Pre-factibilidad y Factibilidad entiende por defecto como *«las consecuencias que se producen por la existencia de un problema determinado»* (200: 24) Del mismo modo que se estableció con las causas, el trato hacia los efectos ha de ser ejecutado de manera metódica. Para lo anterior se debe de cumplir con las siguientes circunstancias.

- Un problema ha de ser un estado de alguna necesidad insatisfecha o de carencia.
- Los problemas han de ser reales, no hipotéticos.
- Un problema no puede ser definido haciendo referencia a una solución.
- Una necesidad/problema lo originan ciertas causas, que a su vez generan ciertos efectos particulares.

9. Asignación de peso a los problemas en proyectos viales. Habiendo identificado los problemas que un proyectos vial busque solventar, es necesario atribuirles a cada uno de estos problemas un peso, esto con el objetivo de ordenar los por grado de prioridad, esta delimitación de importancia relativa es de suma importancia, puesto que al momento de querer actuar hacia un problema específico, se pueden dejar a un lado otra serie de problemas, es decir, el costo de oportunidad de la solución de un problema es la solución de otro problema. Los cuales si no existe una priorización de necesidades, puede ser que se esté dejando a lado otros problemas aún más severos.

El concepto de priorización de necesidades no implica que los problemas de menos peso relativo dejen de ser atendidos, simplemente establece el orden en que deberán ser tomados en cuenta. Ya que no atender un problema en un momento definido, se puede traducir en problemas mucho más severos tiempo después. Tal y como sucede con el mantenimiento de carreteras, el cual si no es el adecuado, el tiempo de vida útil de un tramo se reduce incrementalmente, hasta el punto de que un mantenimiento preventivo ya no tendrá ningún impacto, por lo que el tramo deberá ser reconstruido incurriendo en un costo de inversión mucho mayor.

10. Zonas de influencia y sus factores. Cualquiera que sea el proyecto vial que se desarrollara implica que su ejecución incida sobre un área o entorno. Al entorno que experimenta una variación (positiva o negativa) en su condición actual debido a un proyecto vial en marcha se le conoce como zona de influencia del proyecto. Estas zonas de influencia son las que experimentan las externalidades que genera el proyecto, estas externalidades pueden ser satisfactorias o negativas, aunque por obvias razones si las negativas superan a las positivas, el proyecto nunca deberá de ser ejecutado, por lo que el mismo análisis de perfil, pre factibilidad o factibilidad (si es bien desarrollado) se encargará de hacerlo evidente.

Las zonas de influencia, generalmente son áreas continuas o aledañas a los diversos tramos mejorados, construidos o cualquiera que sea el tipo de proyecto implementado. Sin embargo, hay ciertos factores que deben de ser tomados en cuenta al momento de delimitarlos:

a. Características geográficas: en ocasiones el proyecto se desarrolla en zonas de influencia peculiares que pueden influir en la acotación de las mismas. Características como la sismográfica, topografía, hidrografía, clima, composición del suelo son, entre otros, elementos a contabilizar al momento de definir las.

b. Población y asentamientos: los elementos demográficos es otro factor a considerar al momento de efectuar la delimitación de las zonas de influencia. Aspectos como la migración campo-ciudad y la expansión poblacional son factores que repercutirán no solo en el espacio físico de la zona de influencia, sino en la magnitud de la influencia misma es decir: existe una incidencia mucho mayor en una zona con una mayor densidad de población que en otra donde hay menor cantidad de sujetos. Por lo que el beneficio o el costo puede ser significativamente mayor o menor.

c. Características productivas: tanto en el área rural como en la urbana la especialización productiva que condicionan el flujo vehicular incide de forma diferente. Por lo que es necesario considerar dichas características. Un buen procedimiento sería efectuar una delimitación en cuanto al sector productivo: agrícola, minero, pesquero, industrial, etc.

d. Condiciones socioeconómicas: dada la naturaleza de los proyectos que en esta metodología se están analizando, los proyectos viales financiados por el estado, obedecen al principio teórico de ser ejecutado en donde el beneficio social es más alto, en consecuencia, serán los sitios en donde las condiciones socioeconómicas presentan índices deficitarios más altos en donde la prioridad de su ejecución será desviada.

e. Límites geográficos: este factor consiste en considerar los factores más distantes de los usuarios del tramo, o red vial en estudiado. Normalmente estos límites deberán de ser únicamente aquellos en los existe la posibilidad real de movimiento. Es decir, otras carreteras, cadenas de montaña, ríos etc. ahora bien, dado que no todas las carreteras tienen un límite de dichas características deberán de establecerse las fronteras o límites para estos efectos, esto con el auxilio de hojas topográficas, normalmente se usan escalas 1:50.000

11. Participantes en un proyecto vial. Por la naturaleza de su posición los participantes en un proyecto de carreteras pueden ser: directos, indirectos y organizaciones en torno al problema.

a. Participantes directos: tienen una participación directa y activa en el problema, se sub-clasifican en organizaciones, personas involucradas y agentes afectados por externalidades positivas o negativas.

1) Organizaciones: en este sector se encuentran los ministerios de infraestructura, instituciones financieras, municipalidades, constructoras y consultoras

2) Personas involucradas: en esta categoría se considera a los agentes que tienen participación en el proyecto de modo singular tales como: gerente de proyecto, dueños de derecho de vía, supervisor representante de productores, representante de dueño de propiedades afectadas, representante de los usuarios, etc.

3) Participantes internos y externos: son todo aquellos que participan dentro de un proyecto o colaboran de forma externa

4) Participantes Indirectos: son todos aquellos organismos de apoyo.

5) Ministerios de Agricultura: Definen las políticas agropecuarias que implica la ejecución del proyecto vial.

6) Ministerios de Ambiente y de Recursos Naturales: Tienen a su cargo la preservación de los recursos naturales, mientras se da la ejecución del proyecto y posteriormente el monitoreo y evaluación durante la operación (ya ejecutado el proyecto).

7) Ministerios de Salud

8) Organizaciones No Gubernamentales, entre otras instituciones.

9) Organizaciones en torno al problema: Tal y como se expresó anteriormente, los proyectos de carreteras ha sido financiados habitualmente por el estado. Un razón de peso para que esto sea así es por la alta inversiones que exige un proyecto de vialidad en general.

Dado que la participación del Estado para satisfacer todas las necesidades de la población es bastante limitada, surge la necesidad de buscar la participación de otros agentes, entre ellos, las mismas comunidades. Una participación más activa de estos repercutirá en ejecución de proyectos viales mucho más eficientes. Esta participación, se ve reflejada en la mayoría de las situaciones en la inversión sobre el propio proyecto, con aportes de los terrenos en donde se ejecutará el proyecto.

Ahora bien, es importante mencionar que también existen otras formas de participación por parte de agentes no gubernamentales, las cuales se dan con la participación directa en la inversión del proyecto y comparten dicho financiamiento con otra parte proveniente del sector público, mejor conocidas como concesiones.

12. El estudio de pre factibilidad. Al efectuar un análisis de pre factibilidad, el problema de transporte debe de estar claramente delimitado. Dadas las características de un estudio de pre factibilidad la evidencia no ha de provenir de una rigurosa investigación *in situ* sino mas bien ha de provenir de fuentes primarias cuya obtención no implique en incurrir en altos costos de investigación y análisis (como sucede a la siguiente etapa de investigación, el análisis de factibilidad) de este modo, el análisis deberá demostrar que el proyecto vial es económica y ambientalmente viable. En un caso típico de evaluación de proyectos de carreteras, el análisis de pre factibilidad identificará que tipo de proyecto podría ser favorable para su ejecución, así mismo detectará si la implementación aún no es prematura y si es viable continuar con el siguiente paso en la planificación de proyecto: la factibilidad del proyecto.

Un estudio de pre factibilidad satisfactorio orientará al analista a iniciar la preparación de presupuestos a largo plazo. Esto será útil para definir la cantidad de inversión en la que se tendrá que incurrir para la implementación futura de un proyecto en particular. El estudio de pre factibilidad, si es bien desarrollado, dotará al evaluador de recursos para que el tome de decisiones se efectúe de la mejor manera, por ejemplo: el análisis puede indicar que el mejoramiento de una carretera no sea la forma efectiva para resolver una necesidad, y que este tenga que ser considerado solo más adelante. Si éste fuera el caso gracias al análisis de pre factibilidad el proceso de evaluación de dicho proyecto deberá de ser aplazado hasta que se considere viable, y así no se incurrirá en altos costos de investigación de manera innecesaria.

13. La demanda en un proyecto de carreteras. Definir la demanda en un proyecto vial es uno de los aspectos fundamentales en cualquier proceso de formulación, esto debido al atributo predictivo de la misma. Sin olvidar que la particularidad de ejecutar un proyecto de transporte es la evaluación de uno o varios escenarios futuros en el que existirá la implementación de una nueva situación (una nueva carretera, la ampliación de una carretera existente, el mejoramiento de los trazados, un nuevo puente, el recapeo de un tramo, etc.) Será una necesidad cuantificar los usuarios que se verá beneficiados de dicho proyecto. Toda población es potencialmente demandante de los servicios de carretera. Ya que es prácticamente imposible encontrar individuos que no las utilicen ya sea con fines productivos, comunicación cualquier otro uso.

La demanda de una carretera está representada por un número determinado de viajes en un periodo específico considerado un punto de origen y otro de destino, este número de viajes se puede expresar en términos de volumen vehicular, que se traduce en términos prácticos como el número de vehículos en circulación en un tramo específico de la carretera por unidad de tiempo.

En proyectos viales es de vital importancia conocer dicho flujo, y una aproximación ampliamente utilizada por los analistas es la medición del flujo medio diario (exceptuando en donde los casos de congestión son significativos) en consecuencia, se utiliza como indicador de la demanda de proyecto en índice del tránsito promedio diario anual, por sus siglas TPDA, además se requieren mapas que muestren los puntos de origen y destino del flujo vehicular como material de respaldo.

Las fuentes de información más utilizadas para recabar este tipo de información son las encuestas origen-destino y los conteos de flujo vehicular llevados a cabo *in situ* de donde se efectuaron el proyecto. Así mismo, una buena referencia lo constituye las bases de datos estadísticas desarrolladas por las diversas instituciones públicas a las que les atañe este tipo de información.

14. Indicadores de la demanda en proyectos de carreteras. Para fines de análisis, la demanda de proyectos viales puede apreciarse como la interrelación de ciertas variables y su nivel de significancia estará estrechamente ligada a la calidad y cantidad de información estadística que se tenga.

Todo análisis de demanda parte del supuesto de que la variable base para el análisis es la población. A continuación se presenta una serie de indicadores que permiten efectuar un diagnóstico del flujo vehicular. Estos indicadores se aglutinan en dos grupos según la incidencia sobre la demanda: variables que condicionan la demanda de transporte en general y variables que condicionan la demanda de forma específica.

Variables que condicionan la demanda de transporte de modo general y de forma específica mostradas por *El Manual para la elaboración de Estudios de Pre-factibilidad y Factibilidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua (2008)*

VARIABLES QUE CONDICIONAN LA DEMANDA DE TRANSPORTE DE MODO GENERAL:

- Población y su distribución territorial.
- Nivel económico de la población (ingresos).
- Distribución de riqueza en la población.
- Productividad de los sectores de la económica.
- Localización espacial de estos sectores.
- Redes de carreteras.
- Consumo de combustible.

VARIABLES QUE CONDICIONAN LA DEMANDA DE TRANSPORTE DE MODO ESPECÍFICO:

- Condición de las carreteras.
- Costos de transporte (costos de carga, descarga, trasbordos).
- Tiempo de viaje.
- Características propias del vehículo.
- Características propias del vehículo.
- Confiabilidad del tiempo de viaje.
- Disponibilidad (frecuencia del servicio).

Cabe mencionar que en buena medida parte de la información requerida no se encuentre disponible o no presente los niveles de confiabilidad requeridos, para ello se deberán de hacer las estimaciones necesarias para lograr obtener el nivel estadístico requerido.

Habiendo conocido las variables que tipifican y condicionan la demanda de un proyecto vial, es preciso detallar algunos de los indicadores relacionados con la misma.

a. Indicadores demográficos: este tipo de índice permite identificar a la población que se ve influenciada por la ejecución de un proyecto vial en términos de distribución, número de habitantes y potencialidad de conducción vehicular. Estos indicadores se analizan desde el año de desarrollo del proyecto hacia tres años atrás. Con esto se determina la tasa de crecimiento poblacional de la zona de influencia para posteriormente efectuar los ajustes pertinentes.

b. Indicadores de volumen de productividad: la productividad que se genera en sector, es trasladada hacia diversos puntos mediante vehículos de carga, desde la fuente de producción hacia los diversos puntos de destino. Eso sucede para cualquier tipo de producción agrícola e industrial. En un proyecto caminero puede llegar a darse el caso de que este *transporte de productividad* quede dentro de la zona de influencia del proyecto, es por ello que un indicador de volumen de productividad permitirá identificar el movimiento de carga y la frecuencia con la que se efectúa la misma. Esto por supuesto incidirá en la demanda de uso del tramo por desarrollar.

c. Indicadores del parque de vehículos: el parque de vehículos lo constituye la totalidad de autos en circulación en determinado momento, viene siendo el referente a la población de vehículo. Por tanto conocer el parque automotriz será la base para hacer proyecciones durante la vida útil de un proyecto. El parque automotriz puede ser a nivel nacional como en el área de diagnóstico, dependerá de la profundidad del análisis de la demanda el que dictará el nivel de diferencia entre ambos niveles.

d. Volumen del tráfico vehicular: aunque este tipo de indicador se efectúa para análisis a nivel de factibilidad, el volumen de tráfico es el índice que determina el flujo de vehículos por tipo por unidad de periodo (el periodo se establece antes de efectuar el estudio generalmente es anual) una serie de 5 a 10 años es una base sólida para obtener comportamientos consistentes del flujo vehicular.

e. Velocidad promedio de operación: este indicador es elemental para medir beneficios futuros, luego de realizado el proyecto carretero, mediciones de velocidades promedio bajas implican que los automóviles deben de incurrir en paradas constantes debido altos niveles de tráfico que a su vez indican que la demanda de automóviles es mayor a la capacidad para la que fue diseñado el tramo.

15. Población objetivo. En un análisis de demanda la población objetivo, es aquella población beneficiada con el proyecto de transporte, se distinguen tres tipos de poblaciones:

- Población demandante: es aquella fracción de la población que requiere de los servicios del proyecto para satisfacer la necesidad identificada.
- Población objetivo: es aquel segmento de la población demandante a la que el proyecto está en condiciones reales de atender. Lo ideal es que la población objetivo sea igual a la población demandante, sin embargo, las restricciones financieras, culturales y administrativas provocan que la demanda del proyecto sea mayor a la que el mismo está orientada, por lo que establecer prioridades (como se vio anteriormente) a fin de atender a los que más lo requieren con los recursos disponibles.

16. Estructura de la evaluación económica de los proyectos viales (a nivel de pre factibilidad). Sea cual sea la fuente de financiamiento, la inversión ha de estar orientada a efectuarse de la mejor manera posible. Para ello se debe contar con una estructura claramente delimitada. Para intereses de esta investigación, se detalla una serie de pasos para la evaluación económica de los proyectos viales, es por ello, que se expone de modo explícito a nivel de pre factibilidad.

Para esta estructura es importante tomar en cuenta una serie de principios económicos en la evaluación de proyectos, los cuales se exponen *por Mendoza, Ginesen* el documento *Evaluación económica de proyectos de transporte*:

- Los proyectos deben de ser evaluados pese a las dificultades.
- El objetivo de la evaluación es distinguir los "buenos" de los "malos" proyectos.

- La evaluación resulta más útil cuando se cumplen las condiciones previas sobre la naturaleza de un proyecto.
- Los resultados económico financieros del proyecto no pueden independizarse.
- El riesgo debe de incorporarse estructuralmente desde el comienzo de la evaluación.
- El ACB es una herramienta de diseño y dimensionamiento del proyecto.
- Los costes y beneficios reales dependen de la estructura de la evaluación.
- Identificar los ganadores y perdedores puede ayudar en el éxito del proyecto.
- No todos los impactos medioambientales pueden medirse en el ACB.

Es importante aclarar al lector que en este documento, lo que se pretende es ahondar en la metodología para evaluar el proyecto vial, de modo que etapas (que se muestran en la tabla 2 y 3) como detección de necesidades, ingeniería, medio ambiente, seguridad y etapa social serán únicamente mencionadas para hacer una referencia al usuario de este documento.

A continuación se presentan una serie de tablas que esquematiza las fases de evaluación del proyecto, considerando que estas se pueden clasificar en carreteras principales y carreteras menores, a su vez, este tipo de carreteras se puede subdividir para las carreteras principales en nacionales, regionales y urbanas, mientras que las menores pueden ser grupadas por proyectos urbanos, municipales y de comunidad. Siempre a nivel de pre factibilidad. La fuente del siguiente recuadro es un extracto adaptado para los propósitos de este manual proveniente del *Overseas Road Note 5*:

Tabla 62: Estructura del proceso de evaluación de proyectos viales

ESTRUCTURA DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS VIALES A NIVEL DE PRE-FACTIBILIDAD						
ASES DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD		CARRETERAS PRINCIPALES			CARRETERAS MENORES	
		NACIONAL	REGIONAL	URBANO	MUNICIPAL	COMUNIDAD
En el nivel de pre-factibilidad se proyectan los costos y beneficios sobre la base de criterios cuantitativos, pero sirviéndose mayoritariamente de información secundaria. No se incurre en una investigación rigurosa que exija un desembolso fuerte de recursos para efectuar dicho análisis	NECESIDADES	Identificación de proyectos claves y prioridades para estudios de pre-factibilidad			Identificación de proyectos claves y prioridades para estudios de pre-factibilidad	
	ESTUDIO	Para proyectos de carreteras de mucho valor, es sensible tener una fase de pre-factibilidad para revisar que el proyecto merece continuar. Los datos recolectados en esta etapa puede ser utilizados para la evaluación de factibilidad		El estudio de transporte urbano puede ser suficientemente detallado que la fase de pre-factibilidad no es requerido	Es imposible que se lleven a cabo estudios separados de pre-factibilidad y de factibilidad en esta clase de carreteras.	
	DEMANDA	El tráfico es proyectado utilizando conteos existentes, proyecciones demográficos y actividad económica, se usaran tendencias de modo simple. La composición del tráfico es establecida y estimada en base al conocimiento histórico para los diferentes tipos de vehículos.		Se necesitan establecer los patrones de viajes a menudo basados en datos históricos. Estos en conjunto con costos de viajes, tiempo de viaje. Son utilizados como alimento de modelos de transporte.	Los viajes son examinados como parte del trabajo participativo. Esto envuelve grupos focales, entrevistas, etc las preguntas están particularmente dirigidas a identificar como el transporte puede mejorar el nivel de vida de la comunidad y de las personas en particular.	
	MEDIO AMBIENTE	Levantamiento de campo y mapeo para estimar impactos de alineamiento del tramo sobre las comunidades. Estimado en tomas de tierras, niveles de reasentamientos. Medidas de mitigación distribuidas dentro del trabajo del equipo de diseño. Todas las medidas para salvaguardar el ambiente deben de ser orientadas.			Los impactos ambientales pueden ser significativos en este tipo de caminos. Aun así, la auditoria deberá de ser realizada, y todas las medidas de seguridad para salvaguardar el medio ambiente deben de ser orientadas.	
	SOCIAL	Identificación de los asuntos sociales tales como impacto en aspectos de genero, basado en mapeo y levantamientos en el sitio en colaboración con los equipos con o sin proyecto			Se comprenderá como parte de la información recabada en el apartado de la demanda (arriba)	

Tabla 63: Continuación del proceso de evaluación de un proyecto vial

ESTRUCTURA DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS VIALES A NIVEL DE PRE-FACTIBILIDAD						
FASES DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD		CARRETERAS PRINCIPALES			CARRETERAS MENORES	
		NACIONAL	REGIONAL	URBANO	MUNICIPAL	COMUNIDAD
	SEGURIDAD	Para cada alternativa que sea evaluada se hará una auditoría de seguridad en asociación con los trabajos de diseño. Se hará un estimado acerca de las tasas de accidentes con o sin proyecto.			Cuando el proyecto este orientado a la seguridad se hará una auditoría detallada como parte del proceso de diseño.	
	INGENIERÍA	Cada opción es generalmente especificada en términos de su alineamiento, geometría, diseño de pavimento y de estructuras. Se hará un levantamiento geotécnico limitado, junto con el uso de levantamientos históricos para dar alguna seguridad en el diseño y disponibilidad de materiales. Las calles urbanas deberán tener atención detallada en los diseños de intersecciones y administración del tráfico.			En este hay poca necesidad de examinar alternativas, cada solución deberá conllevar un dialogo entre el equipo de diseño y la comunidad	
	ESTIMACIÓN DE COSTOS	Basado en costos históricos, actualizados como mas sea conveniente, que pueden ser categorizados para reflejar la naturaleza del terreno, cantidades de mano de obra requerida, cantidad de estructuras etc. algunas indicaciones acerca de recursos de materiales utilizados en los costos.				
	ANÁLISIS	Basado en el ABC (análisis beneficio-costos) con ahorros en costos de operación como principales ahorros. Los costos ambientales deberán de ser distribuidos entre los diseños de ingeniería. Puede ser utilizado el HDM4 o REM como mecanismo para para el proceso de evaluación		Basado en el ABC con ahorros de tiempo como principal beneficio.	Si es apropiado se utiliza el ABC de otra forma recursos de análisis cualitativo de beneficios sociales y algunas formas de análisis multicriterio.	
	RESULTADOS	Informe de pre factibilidad con la opción propuesta dirigida a un problema particular. Se determina si es viable proceder a la etapa de factibilidad.			Conjunto de diseños que pueden ser implementados, se determina si es viable proceder a la etapa de factibilidad.	

Guide to road projet appraisal.

F. Modelo de evaluación de la rentabilidad de proyectos viales

El modelo de evaluación que se exponen en este manual se sustenta en la premisa de que el aporte de las infraestructuras (como los proyectos viales) al desarrollo económico de una nación y la recuperación en el bienestar social no solo depende del conjunto de activos durables utilizados para generar bienes y servicios (stock de capital) sino de la composición de los mismo.

La importancia de elegir la mejor alternativa para desarrollar un proyecto se fundamenta en el hecho de que toda decisión conlleva un costo de oportunidad (El costo de oportunidad se entiende como

aquel costo en que se incurre al tomar una decisión y no otra. Es aquel valor o utilidad que se sacrifica por elegir una alternativa A y despreciar una alternativa B. Tomar un camino significa que se renuncia al beneficio que ofrece la otra opción descartada), ya que todo recurso es escaso (El término escasez no significa pobreza o carestía. La escasez es una premisa económica que establece que no existe ningún recurso tan abundante que no implique incurrir en algún costo para hacerse poseedor de dicho recurso (únicamente el aire... por el momento). Es por el principio de escasez que cualquier elección del hombre conlleva una escogencia (no se puede seleccionar todo, por lo que se selecciona la opción más alta en su escala de valor) Esa selección implica que se dejaron de seleccionar otras alternativas (costo de oportunidad) y como consecuencia la ejecución de proyectos se consolida en base a escogencias. Si se considera que ese costo de oportunidad, es un costo de beneficio social, el peso por efectuar buenas escogencias se incrementa.

Cuando los proyecto poseen financiamiento del Estado estos compiten por fondos públicos (tal y como sucede en la mayoría de las ocasiones, con los proyectos viales) el problema es que estos procedimientos fácilmente se pueden ver envueltos en problemas de información incompleta y asimétrica.

La construcción de colosales proyectos viales puede acarrear problemas de desviaciones del presupuesto de inversión originalmente establecido, falsas expectativas en cuanto a la predicción de la demanda, inadecuados manejos operativos. Estos problemas son mucho menos probables si quienes deciden presentar el proyecto asumen los riesgos de pagar por la mala planificación inicial o bien si los riesgos se asignan a los agentes más aptos para hacerles frente, todo esto conlleva minimizar las repercusiones en un proyecto de esta naturaleza.

La evaluación de un proyecto de carreteras, sin importar, si es de construcción, renovación, mantenimiento etc. debe de justificarse en términos de rentabilidad (como cualquier proyecto) para evaluar esa rentabilidad se parte de un análisis de costo beneficio. Como la evaluación se desarrollará en torno a proyectos de financiamiento público, esta es la metodología más utilizada.

El presente documento pretende desarrollar una metodología que permita definir un modelo de análisis costo-beneficio para evaluar proyectos de transporte (carreteras y sus derivados), tal y como se expresa en las páginas iniciales de este documento, se ha tendido a analizar el riesgo como un elemento independiente, cuando la incertidumbre que siempre está asociada a una tasa de riesgo se encuentra presente en todo proceso de ejecución del proyecto vial. Es por ello que se considera de modo explícito la incertidumbre como elemento a ser tomado en cuenta desde la planeación, toma de decisión hasta la implementación del proyecto.

Las redes de carreteras son infraestructuras esenciales ya que permiten la infinidad de intercambios de productividad.

El presente documento pretende desarrollar una metodología que permita definir un modelo de análisis costo-beneficio para evaluar proyectos de transporte (carreteras y sus derivados), tal y como se expresa en las páginas iniciales de este documento, se ha tendido a analizar el riesgo como un elemento independiente, cuando la incertidumbre que siempre está asociada a una tasa de riesgo se encuentra presente en todo proceso de ejecución del proyecto vial. Es por ello que se considera de modo explícito la incertidumbre como elemento a ser tomado en cuenta desde la planeación, toma de decisión hasta la implementación del proyecto.

Las redes de carreteras son infraestructuras esenciales ya que permiten la infinidad de intercambios de productividad. De hecho, se ha logrado determinar una correlación directa entre el índice de infraestructura de un país y su prosperidad económica. La idea que se percibe detrás de cualquier proyecto de infraestructura es la simple: mejorar las condiciones de vida de sus usuarios.

Para evaluar un proyecto de construcción de carreteras se deben de resolver dos interrogantes:

- ¿Qué proyectos realizar? Definir cuáles son las alternativas por escoger basadas, en el mayor beneficio para el usuario.
- ¿Bajo qué condiciones realizarlo? Definir los costos (mantenimiento, operación, implementación, construcción) y beneficios del proyecto

Es importante reconocer que para efectuar de mejor manera la toma de decisiones, una evaluación de un proyecto vial, no puede ser considerada únicamente como de carácter financiero. Una evaluación de un proyecto de transporte abarca un concepto mucho más amplio: un modelo como el planteado en este manual, exige una correcta cuantificación de todos los beneficios y costos asociados al proyecto en cuestión. El cual no se satisface simplemente con el hecho de incorporar alta tecnología del proyecto, o que sean valorados de manera positiva por los usuarios, ni siquiera se detiene cuando se logran cubrir costes con ingresos de explotación. En este manual el criterio que se persigue es consistente: aceptar o rechazar un proyecto en base a la relación que exista entre los costes sociales y los beneficios sociales. De modo obvio un proyecto se aceptara siempre que en un proyecto los beneficios sociales superen los costos sociales.

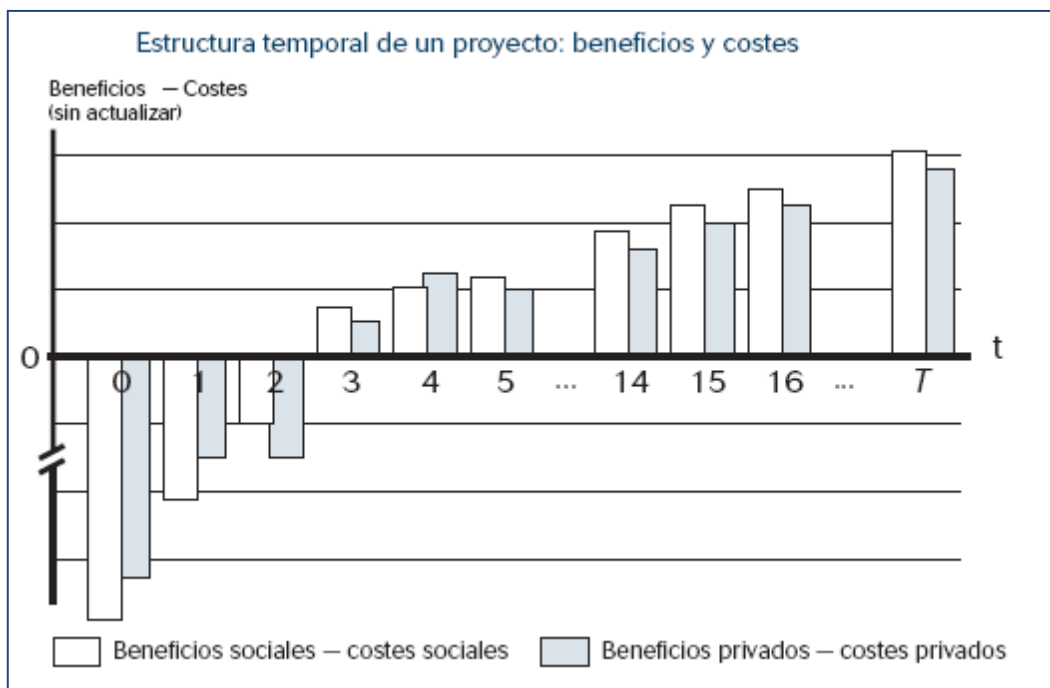
El cálculo del beneficio social está estrechamente ligado al análisis financiero, y es que lejos de actuar de modo independiente, en este tipo de proyectos, tal y como sucede en una economía de mercado, la cantidad demanda se ve afectada por el precio que el usuario tenga que desembolsar por percibir el beneficio del proyecto (en caso de que se fije un precio por el uso de la instalación: peajes etc.) en consecuencia los costos y beneficios sociales de igual modo se ven afectados.

Es decir, la decisión de efectuar la inversión o no, y las tarifas de precios que se cobraran por el uso de la infraestructura está altamente ligada, y será la política de precios que se defina para el proyecto la que definirá la combinación de costo y beneficio social, que repercutirán en la rentabilidad social.

Para la evaluación de proyectos de infraestructura, como lo son los proyectos camineros, se han utilizado dos perspectivas para ser analizado: el valor actual neto del proyecto o VAN (también conocido como el valor presente neto VPN) y la tasa interna de retorno TIR.

1. Valor Actual Neto VAN en proyectos de carreteras. Todo proceso de evaluación de un proyecto inicia por determinar el valor actualizado de una serie de flujos de efectivo desde un periodo cero T_0 hasta un periodo final T_n (que es el momento en que se efectuará la decisión), esta serie de flujos de efectivo no son más que los costos y beneficios sociales asociados al proyecto. De modo que, al determinar cuál es el equivalente de esos flujos durante un periodo T_0 a T_n , se obtiene lo que se denomina como el Valor Actual Neto o VAN.

Ilustración 73: Comportamiento del flujo de efectivo de beneficios y costos sociales de un proyecto vial



Gráfica tomada de *Evaluación económica de proyectos de transporte*. G. Mendoza, O. Cruz, J. Campos

En la Ilustración 73 se observa la estructura de un proyecto de infraestructura vial. En esta figura se puede apreciar como un proyecto de esta naturaleza consiste en una serie de flujos de efectivo a través de

un periodo T. Los costos asociados al proyecto son asociados con salidas de efectivo y son representadas como valor por debajo de cero (magnitud negativa) mientras que los beneficios con entradas de efectivo o valores por encima de cero (magnitud positiva) así mismo en esta ilustración se coloca el comportamiento de los beneficios y costes según su tipo de financiamiento, ya sea público o privado.

Del mismo modo puede observarse, como dicha serie sucesiva de flujos de efectivo inicia con un coste social relativamente alto en el periodo cero, el cual obedece a la inversión inicial, para luego después de cierto periodo de tiempo empezar a percibir beneficios que se incrementan con el paso de tiempo, ya que el beneficio social se hace cada vez mayor.

Como se expresó con anterioridad los beneficios y costos pueden ser públicos y privados, pero como se observa en la ilustración anterior, sus magnitudes no coinciden entre sí:

Los beneficios sociales reflejan los beneficios totales de un determinado servicio que experimentan los usuarios del proyecto, sin embargo, no sucede lo mismo con los beneficios privados, ya que estos se limitan a cuantificar los ingresos obtenidos por parte de la empresa que produce o presta un servicio, es por ello que estos son menores.

Los costes sociales de modo similar, contabilizan los costes privados por todas las externalidades que se produzcan al momento de ejecutar un proyecto (por ejemplo, incremento de ruido, daño a la capa de ozono, congestionamientos durante la ejecución de un proyecto, etc.) estas externalidades catalogadas como costes sociales, nunca serán consideradas al momento de efectuar un análisis de costeo privado. Del mismo modo, entre los costes sociales se incluye el costo de oportunidad social, que se explicó con anterioridad.

Descrito lo anterior, el cálculo del Valor Actual Neto puede desarrollarse a partir de dos expresiones, para calcular el VAN social y el VAN financiero:

$$VAN_S = -I_0 + \frac{BS - CS_1}{1 + i} + \frac{BS_2 - CS_2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{BS_T - CS_T}{(1 + i)^T}$$

$$VAN_f = -I_0 + \frac{p_1 q_1 - CP_1}{1 + i} + \frac{p_2 q_2 - CP_2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{p_T q_T - CP_T}{(1 + i)^T}$$

En donde,

VAN_S : Valor actual neto social

$BS_1 \dots BS_T$: Beneficios sociales anuales

VAN_f : Valor actual neto financiero

$CS_1 \dots CS_T$: Costos sociales anuales

I_0 : Costes de inversión en el año base

$p_1q_1 \dots p_Tq_T$: Ingresos anuales

T: Duración de proyecto

$CP_1 \dots CP_T$: Costes privados anuales

i: Tasa de descuento

Con estas dos ecuaciones (15,16) está claro que la relación entre el VAN social y el VAN financiero es vinculante. El VAN social abarca entonces, al VAN financiero. Ver Ilustración 72.

Ahora bien, es preciso mencionar que todo proceso de evaluación del proyecto ya sea social o financiera, implica un grado de riesgo (incertidumbre) asociado. De modo que en un escenario teórico de ausencia de incertidumbre, la toma de decisión se simplificará significativamente. Descrito lo anterior se puede entonces establecer ciertos criterios de decisión:

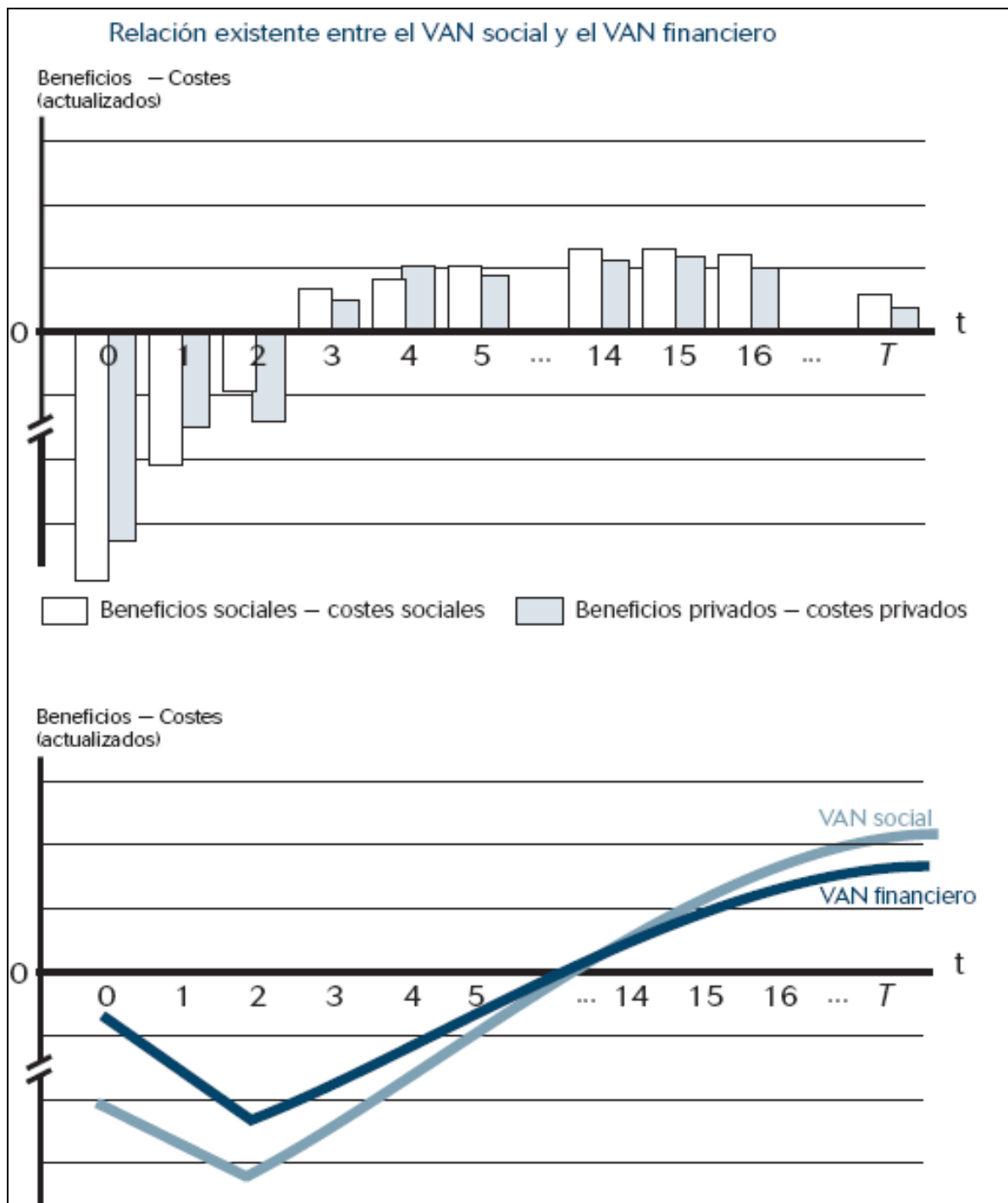
a. Si tanto el VAN social como el VAN financiero calculado resulta positivo la decisión resultante será efectuar el proyecto.

b. Si el VAN social resulta negativo y el VAN financiero positivo la decisión estará ligada a rechazar el proyecto de infraestructura en cuestión.

c. Si el VAN social es positivo y el VAN financiero muestra ser negativo entonces se procede a uno de las dos alternativas:

- 1)** Sin restricciones presupuestarias: realizar el proyecto.
- 2)** Con restricciones presupuestarias: modificar precios y capacidades definidas y recalcular el VAN.
- 3)** Ahora bien, si tanto el VAN financiero como social calculados resultan negativos la decisión obvia será rechazar el proyecto

Ilustración 74: Relación entre VAN social y VAN financiero



Gráfica tomada de *Evaluación económica de proyectos de transporte*. G. Mendoza, O. Cruz, J. Campos

2. Simplificación del modelo. Una análisis de costos y beneficios no es una tarea fácil de identificar, más si estos están asociados al cálculo desde la perspectiva social, una simplificación válida del modelo, consiste en contabilizar únicamente los aspectos que se modifican desde la situación inicial de un proyecto, y no el de todos los elementos, por lo que el modelo de evaluación económica que se presenta en este manual no pretende abarcar todos los elementos que determinan la toma de decisión final, pero si identificar aquellos elementos que resultan distintivos para el análisis. Lo que se busca con ello, es dejar a un lado aquellos aspectos políticos e institucionales que dificultan la modelización del proyecto, claro está sin perder la rigidez necesaria para obtener decisiones concluyentes.

Sabiendo que tanto el VAN social como el VAN financiero presentan diferencias significativas en cuanto a los valores que se obtendrán del análisis, resulta adecuado definir cómo será esta relación entre ambos VAN. A grandes rasgos, se puede definir que el VAN social y el económico (también llamado privado o financiero) en la mayoría de las situaciones no coincidirán. Y es que para que esto se de los costes sociales deberán de ser idéntico a los costes privados deberán de ser exactamente iguales, cosa altamente improbable que ocurra por las siguientes circunstancias:

Primero, un proyecto de infraestructura vial está altamente vinculada con un beneficios social, el cual es el ahorro de tiempo en el viaje, de modo que la disposición del usuario de pagar por dicho ahorro excede los ingresos que operados es capaz de cobrar. Además en el caso de una carretera libre (sin peaje) esta diferencia se maximiza. Así mismo, entre los beneficios sociales que deben de ser incluidos no solo se encuentran los usuarios directos del mismo, sino también aquellos no hacen uso de la carretera sino también los beneficios de los que se ven afectados en algún grado por el proyecto, esto a diferencia de un análisis privado en donde no se contabilizan.

Segundo, en el análisis costo-beneficios, los costes de operación, mantenimiento y construcción deben de ser analizados conjuntamente con su costo de oportunidad social asociado, tal y como se expreso anteriormente, esto obliga a definir qué es lo que la asociada pierde como primera opción por ejecutar un proyecto vial.

Tercero, hay que añadir a las externalidades, las externalidades son aquellos elementos en los que repercute un proyecto sí que estos tengan una participación activa-directa en un proyecto vial. Cuando algún individuo se ve influido por la construcción de un proyecto vial, es decir una externalidad, éste se convierte en un sujeto de análisis, en un modelo de coste beneficio social (no sucediendo lo mismo en una modelación privada) estas externalidades pueden ser de carácter positivo o negativo, si la incidencia es sobre una externalidad positiva, el "afectado" recibe el nombre de *freerider*.

Cuarto, las diferencias entre ambos análisis también se sensibilizan durante la actualización de flujos de efectivo, y es que la presencia de impuestos sobre el ahorro y rendimiento de capital provoca que la tasa social de descuento (mejor conocida como tasa de interés) no coincida con una tasa de descuento privada.

3. Flujos de los costos y beneficios para el Valor Actual Neto VAN: Los flujos de efectivo de los costes y beneficios de un proyecto ya sea de una evaluación social o financiera, son elementos indispensables para el cálculo de VAN (ya sea privado o social) estos flujos de caja se expresan en magnitudes de dinero, a través de una línea en el tiempo, la cual será determinada por el tiempo para el cual se está evaluando el proyecto. Como son entradas y salidas del dinero a través de tiempo, es necesario considerar un tasa de descuento, que exprese el valor del dinero en el tiempo, esta tasa es vinculante con la inflación, sin embargo, es una práctica común omitir esa proporción de la tasa, ya que es un cambio meramente monetario que no incide en los valores reales durante el periodo de vida de un proyecto. Aunque es importante hacer la salvedad que algunos costes o beneficios se pueden comportar o evolucionar por encima de la inflación general contabilizada, en ese caso corresponderá hacer un ajuste contabilizando la diferencia.

El motivo por el cual el cálculo se efectúa en magnitudes monetarias obedece simplemente a que los términos monetarios son mucho más fáciles de interpretar al momento del análisis. Así mismo, al carácter financiero del análisis así lo exigen.

Como cualquier proyecto, se distinguen los valores reales y nominales sabiendo que el valor nominal es el valor de un agente en el presente (que puede ser un producto, un proyecto etc.) Por lo que contabiliza la tasa de inflación (la cual es una constante en cualquier economía regulada por una unidad monetaria) en consecuencia el valor real es el precio de dicho agente sin contabilizar la inflación. De modo que ocurre lo mismo al expresar el VAN en términos monetarios.

La relación de igualdad entre el VAN real y el VAN nominal está determinada por la siguiente equivalencia:

$$\sum_{t=0}^T \frac{BT_t - CS_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{(BS_t - CS_t)(1+m)^t}{(1+i_n)^t}$$

En donde,

BS_t = Beneficios sociales reales

CS_t = Costo sociales reales

m = tasa de inflación anual

i = tasa de descuento real

i_n = tasa de descuento nominal

De la igualdad anterior se obtiene de forma simplificada

$$\frac{1}{1+i} = \frac{1+m}{1+i_n}$$

Consecuentemente,

$$i_n = i + m + (im)$$

De acuerdo con lo anterior, se obtiene una expresión para calcular la tasa de descuento real conociendo la tasa de interés nominal y la inflación respectiva:

$$i = \frac{i_n - m}{1 + m}$$

G. Metodología de costo-beneficio para proyectos viales

Hasta el momento se ha analizado como la evaluación de rentabilidad de un proyecto vial (cálculo del VAN) está estrechamente ligado al análisis de costos y beneficios. Es momento entonces, de ahondar en dicho análisis.

1. Medición de los costos y beneficios. La medición de los costos y beneficios de un proyecto vial se ejecutan a partir de los cambios experimentados en lo que se conoce como precio generalizado. El precio generalizado es un término que se utiliza para abarcar el siguiente concepto: cualquier proyecto de infraestructura vial tiene asociada una cantidad de demanda de usuarios que hará uso de dicho proyecto diariamente, como cualquier curva de demanda, esta será inversamente proporcional al precio que tenga que pagar por usar dicho proyecto vial. Ese precio se conoce como precio generalizado y está constituido por la siguiente expresión:

$$g = p + z + v\tau$$

Donde g es el precio de venta y sus componentes p la tarifa, peaje, etc. por el usuario por cada viaje, z es el costo variable promedio por utilizar el vehículo móvil por parte de usuario, para esta variable es preciso mencionar que cuando el análisis está orientado a medios de transporte públicos $z=0$. Ahora bien, para el privado este refleja el costeo por mantenimiento y operación de vehículo: repuestos, combustible, etc. dependerá del horizonte de análisis el definir si a estos costos se asocian los costos fijos tales como, los impuestos y licencias. Por otro lado τ es el tiempo total de viaje, mientras que v representa el valor monetario unitario de dicho tiempo invertido el viaje.

Habitualmente el precio generalizado incluye otras variables asociadas a la calidad de la utilización de tramo, parámetros como la comodidad, puntualidad. Sin embargo, con fines de simplificación del modelo se considera que estos elementos no cambian significativamente con o sin la ejecución del proyecto vial.

Habiendo conocido el concepto del precio generalizado es preciso continuar con la medición de los beneficios y costes. Una infraestructura, después de su ejecución busca reducir el tiempo de viaje. Cabe hacer la salvedad que la medición de los beneficios se realizara progresivamente: primero, el caso más simple, el beneficio implica la reducción de tiempo, luego se agregan conceptos como los impuestos y subvenciones (Se entiende como subvención como aquella ayuda proveniente del estado para costear o mantener un proyecto) y posteriormente las externalidades.

Estudios institucionales han definido los principales costos y beneficios en un proyecto de carreteras como se demuestra en *Evaluación económica de proyectos de transporte*, del Banco Interamericano de Desarrollo, BID:

- Reducción de tiempo total de viaje, ya sea esperando en el vehículo o en el acceso –salida de las paradas, estaciones o terminales. Esta reducción de tiempo de viaje puede tener su origen en un incremento de la velocidad, de la frecuencia, por cambios en la red, reducción en congestionamiento o en escasez.
- Ahorros en los costes operativos de la infraestructura o de los vehículos e instalaciones como consecuencia de los efectos del proyecto en mercados relacionados.
- Mejoras en la calidad o la fiabilidad de los servicios de transporte ya existentes.
- Disposición a pagar del tráfico de una nueva generación.
- Reducción de accidentes y pérdidas de vida.
- Externalidades positivas o negativas.
- Costes de inversión del proyecto.
- Variación en los costes de mantenimiento y explotación.

2. Metodología para evaluación de los costos y beneficios. En el campo de la evaluación existen, dos procedimientos típicos para cuantificar los beneficios asociados a un proyecto, estos son:

a. Método A: Hacer la sumatoria en las variaciones de los excedentes obtenidos por los diversos conjuntos sociales afectados. Dicho procedimiento consiste en calcular los cambios que se suscitan tras la ejecución de un proyecto. Es un cálculo que implica cuantificar la diferencia entre lo que gana y lo que pierde cada sujeto con la ejecución de un proyecto. Es decir, al pasar de una situación inicial 0 en donde no hay proyecto hasta una situación inicial 1 o con proyecto. Esta diferencia calculada es un mecanismo para determinar lo que se está dispuesto a desembolsar por el uso de dicho proyecto

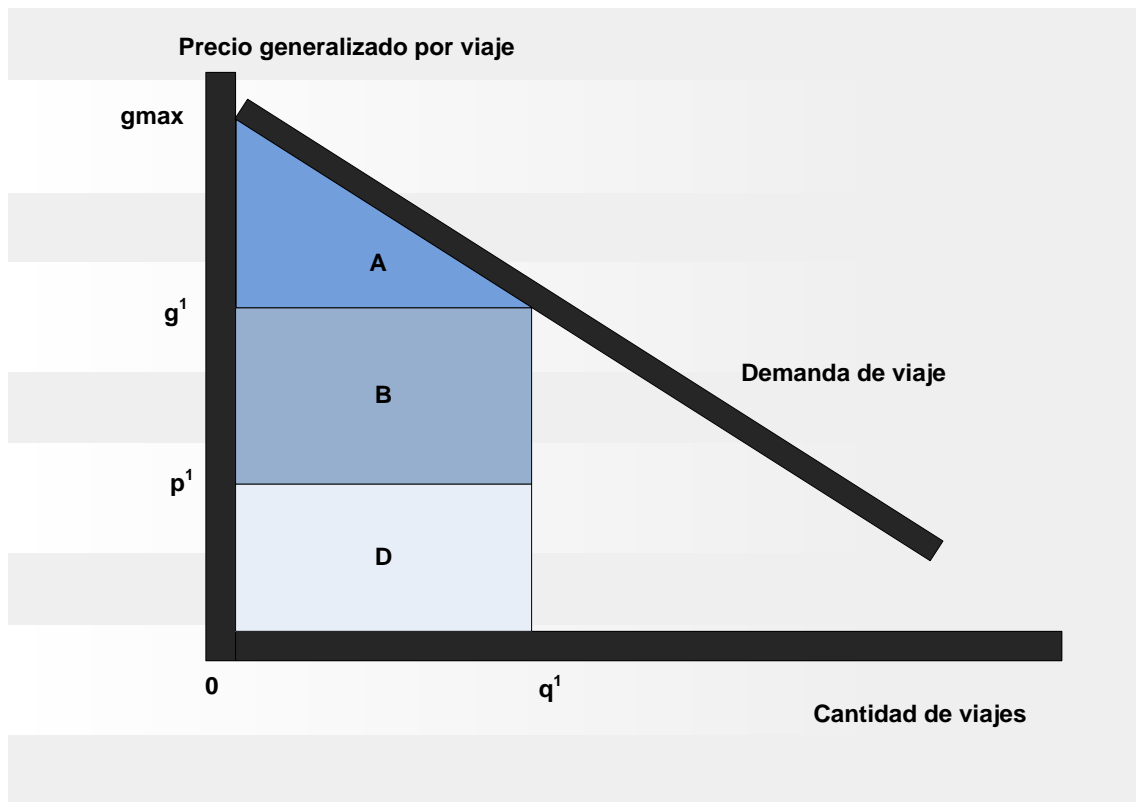
b. Método B: Calcular el cambio en la disposición a pagar y en la utilización de recursos por parte de los involucrados en el proyecto. Este método a diferencia del método A, se hace a un lado la tarea de identificar los cambios en los excedentes de los grupos afectados y se enfoca en determinar si la disposición a pagar por parte de los usuarios ha cambiado y si el costo de los recursos utilizados se modificado con pasar de una situación inicial a la situación con proyecto.

Es importante, definir que no hay un método mejor que el otro, a pesar de que ambos métodos exigen una cuidadosa recolección de datos, en sendos métodos se puede caer fácilmente en la doble contabilización de beneficios. Por lo que el mejor procedimiento depende de la situación y del proyecto vial que se pretende analizar. Indudablemente el ideal, es ejecutar ambas metodologías con el fin de detectar errores de modelamiento.

Básicamente, un criterio para proceder adecuadamente en todos los casos consiste en formular la siguiente interrogante: qué obtiene la sociedad con el proyecto, qué le cuesta a la sociedad obtenerlo.

3. Dedución de la expresión del Beneficio social de una nueva infraestructura vial. Para identificar los beneficios existentes antes de la ejecución de un proyecto vial y en consecuencia los que se suscitan después de la construcción, es válido apoyarse en una gráfica que muestre la demanda del mismo, y a partir de ella desarrollar su deducción lógica. En dicha gráfica se representa la situación 1, es decir en donde ya se ha ejecutado el proyecto. El proyecto tiene una inversión inicial igual a C , el precio generalizado tal y como se expresó anteriormente es igual a g^1 y la demanda de viajes (que es lo mismo que decir la demanda de uso) de la nueva carretera será q^1 . Considerando que el costo variable de los usuarios por utilizar la carretera (Z) es cero y en ausencia de impuestos y subvenciones el precio o tarifa del individuo por ser usuario de la carretera es p^1

Ilustración 75: Beneficio social de una nueva infraestructura



Continuando con la deducción y haciendo uso de la Ilustración 74 se obtiene que el beneficio social asociado a esta nueva infraestructura es igual a la disposición de pagar por la utilización de la infraestructura (área A+B+D) menos el valor monetario del tiempo invertido en el viaje; es decir B, entonces, el área A+D. Ahora bien, utilizando el método alternativo de suma de excedentes, el beneficio social vendrá representado por el excedente de la totalidad de usuarios, área A, más el de los productores, que al mismo tiempo es igual a los ingresos (área D). En consecuencia, formalmente el beneficio neto es igual a (A+D) menos los costes de construcción C , lo que da origen finalmente a la siguiente expresión (que requiere conocer el precio máximo generalizado g_{max}):

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}(g_{max} - g^1)q^1 + p^1q^1 - C^1$$

El beneficio social neto es igual a la suma de los excedentes de los usuarios y de los productores, o lo que es lo mismo, a la disposición total a pagar de la sociedad por el nuevo proyecto menos los recursos necesarios para su realización. Como lo expresa *Mendoza.G, Cruz. O, Méndez* en *Evaluación Económica de proyectos de transporte* (2006:33)

4. Deducción de expresión del Beneficio social cuando varía el precio

generalizado. Existe el caso, menos idealizado, el que el proyecto exige una variación el precio generalizado del proyecto, por ejemplo, cuando no se da la construcción de un nuevo proyecto sino que el proyecto consiste en la mejora, ya sea ampliación, señalización, repavimentación etc. de la infraestructura. De modo que se considera que el proyecto reduce su precio generalizado de una situación inicial g^0 a la nueva situación g^1 , esto conlleva a que el tiempo de viaje τ se reduzca en del escenario τ^0 a τ^1 . Como ya se expresó con anterioridad la relación entre demanda y precio es inversamente proporcional, en consecuencia ante la disminución del precio generalizado la demanda se incrementará de q^0 a q^1 . Por lo que mediante el uso de una gráfica similar a la anterior se llega a la deducción de que únicamente se requiere sumar las áreas G, E y F de la Ilustración 74. Obtenido la siguiente expresión:

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) + p^0(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0)$$

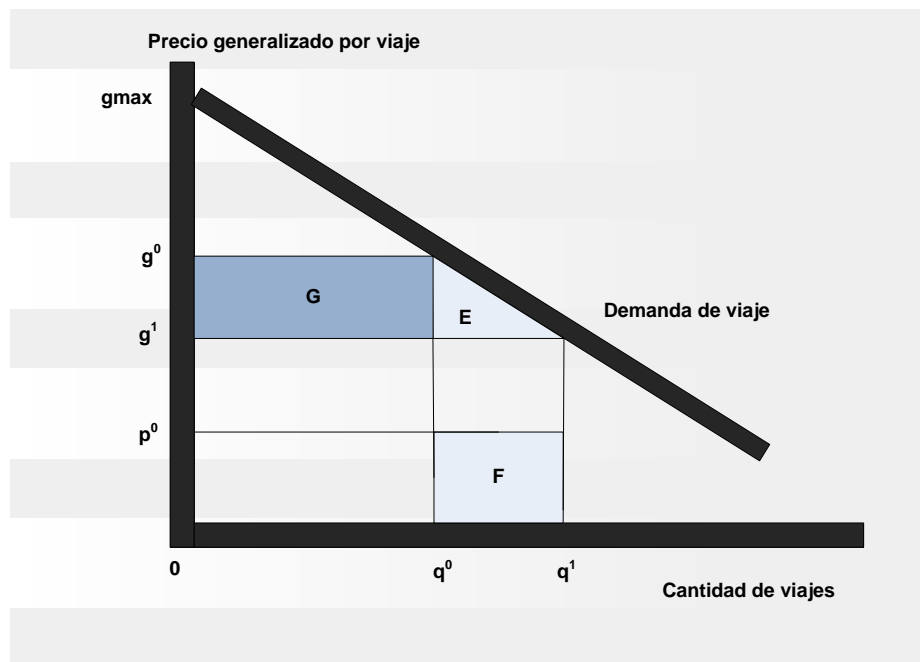
Utilizando la expresión para precio generalizado.

$$g = p + z + v\tau$$

Se obtiene

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}v(\tau^0 - \tau^1)(q^0 - q^1) + p^0(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0)$$

Ilustración 76: Beneficio social al varía el precio generalizado



5. Deducción de la expresión del Beneficio social cuando se consideran los impuestos. Cuando el modelo de evaluación económica exige considerar impuestos y subvenciones, los dos modelos tratados anteriormente experimentan pequeñas modificaciones. Para el tratamiento de los impuestos se considera que los mismos por viaje se incrementan en un factor unitario ψ cuya magnitud la define la autoridad pública o el gobierno, en consecuencia la tarifa que el usuario paga ahora por hacer uso de la misma es $P=p+\psi$ donde p es el precio sin contabilizar impuesto (tal y como se había trabajado hasta este punto)

Ilustración 77: Beneficio social de una nueva infraestructura vial con impuestos

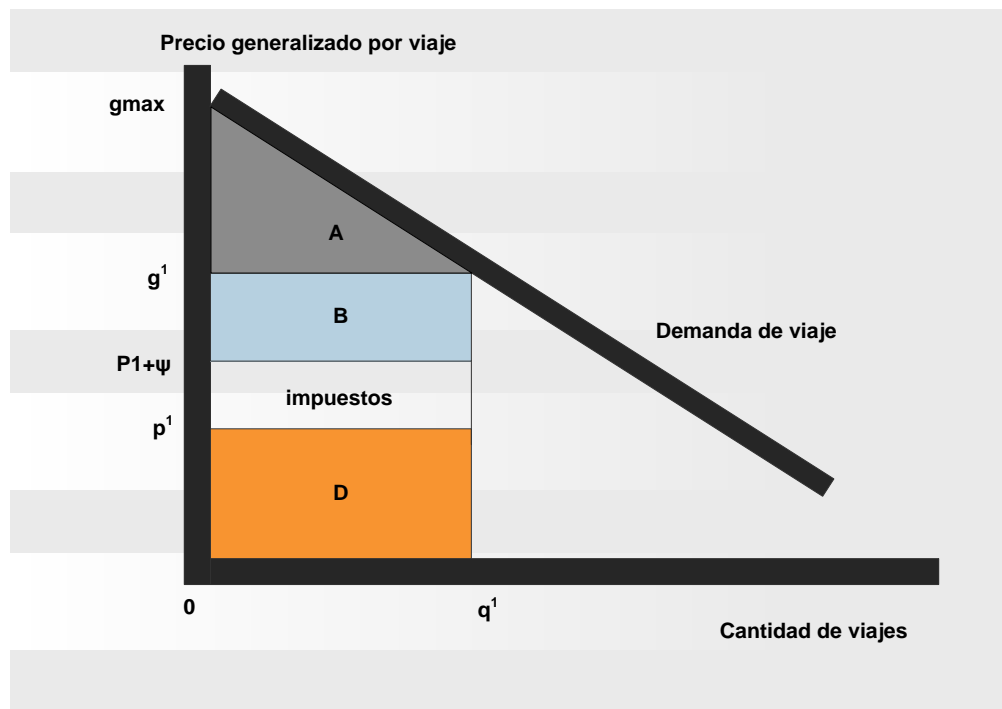
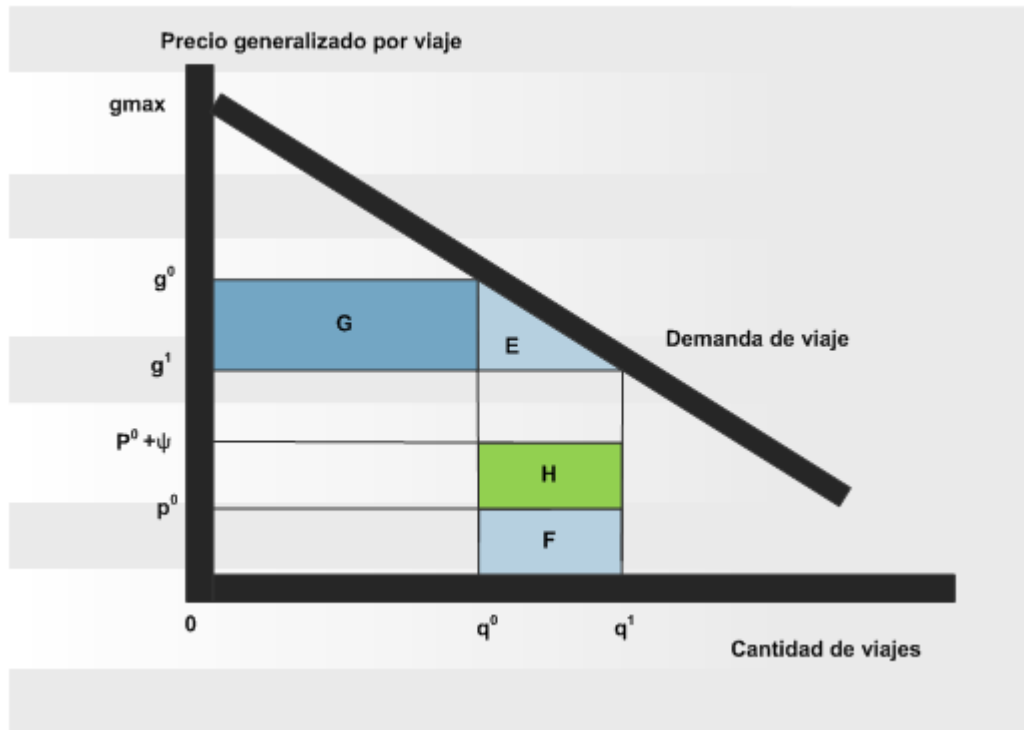


Ilustración 78: Beneficio social cuando varía el precio generalizado con impuestos



Se observa entonces que para el método B en donde se calcula el beneficio social según la disposición total a pagar el cual ocurre cuando se desarrolla una nueva infraestructura vial el tratamiento de impuestos se materializa con la aparición de una nueva área en curva de la demanda (Ilustración 14) esta nueva área ψq^1 será necesario contabilizarla. De modo similar ocurre para el otro método, en donde se calcula el beneficio social según la variación del precio generalizado, lo que es lo mismo de hablar de la sumatoria de los cambios en los excedentes de los diversos grupos sociales involucrados, esto se suscita cuando los proyectos viales son modificaciones a proyectos ya existentes como ampliaciones, o mejoras. Para estos casos surge del mismo modo un área H por contabilizar, la cual refleja la variación de la recaudación de impuestos antes y después del proyecto: $\psi(q^1 - q^0)$

Lo anterior puede extenderse en caso de la existencia de subvenciones, la subvención por parte del gobierno repercute en el precio generalizado por hacer uso del proyecto, por lo que el nuevo precio generalizado por considerar vendría dado por la siguiente expresión: $P = p + \psi - s$ en donde s es la subvención unitaria. Por lo que habría que añadir a la expresión el término: $-s(q^1 - q^0)$

6. Dedución de la expresión del Beneficio social cuando se consideran las externalidades. Tal y como se expresó anteriormente, la contabilización de externalidades en un proyecto de infraestructura vial, ha de ser ejecutado de modo similar a los impuestos. La externalidad puede ser positiva o negativa, dada su naturaleza en el proyecto. Siguiendo la lógica de las deducciones anteriores. Las externalidades pueden igualmente obtenerse de mediante la interpretación grafica de la demanda de viajes, para ello basta con agregar el concepto de externalidad ϵ a la ilustraciones anteriores dependiendo de si el modelo deduce la disposición total a pagar o si muestra la variación del precio generalizado. Tal y como se muestra en las Ilustraciones 78 y 79 respectivamente.

Ilustración 79: Dedución social de una nueva infraestructura vial con impuestos y externalidades

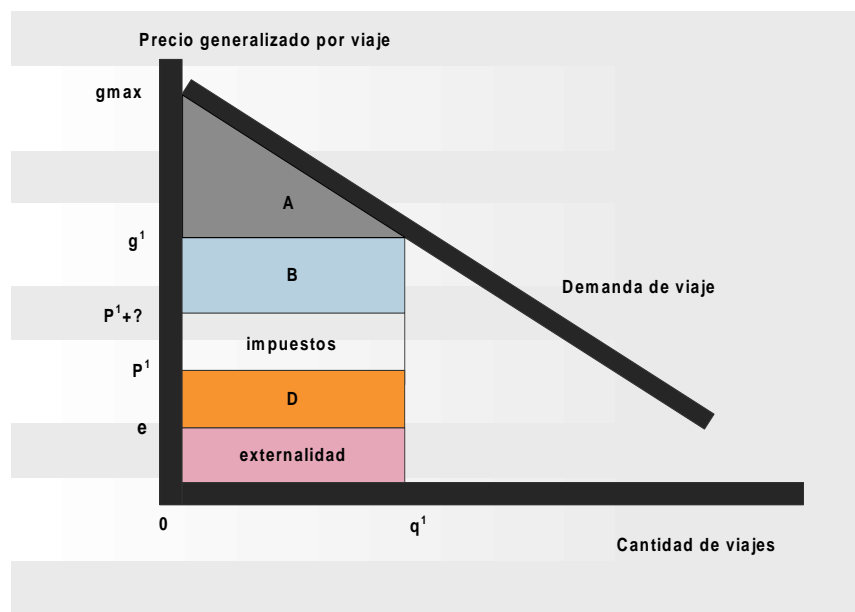
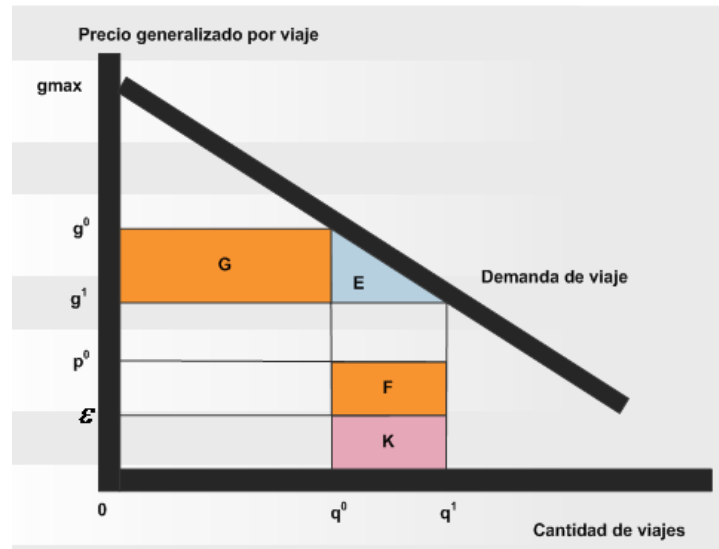


Ilustración 80: Beneficio social cuando varía el precio generalizado con impuestos y externalidades



El costo total por contabilizar la externalidad está determinada por el área asociada, es así como para el caso de beneficio social de una nueva infraestructura o disposición total a pagar, el área correspondiente será ϵq^1 (figura 16) mientras que para el modelo de variación del precio generalizado el área asociada es k , la cual se traduce en $\epsilon(q^1 - q^0)$.

En consecuencia, cuando en el modelo se consideran impuestos, subvenciones y externalidades la expresión de los beneficios y costos sociales se deriva en

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) + (p^0 + \psi - s - \epsilon)(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0)$$

Utilizando la expresión del precio generalizado

$$g = p + z + v\tau$$

Se obtiene,

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}v(\tau^0 - \tau^1)(q^0 - q^1) + (p^0 + \psi - s - \epsilon)(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0)$$

H. Consolidación de la medición de costes y beneficios

En los puntos anteriores, se ha modelado la determinación de los beneficios sociales tras ciertas consideraciones (impuestos, externalidades, etc.) sin embargo, se consideró que no incida en el precio generalizado, cosa poco realista. Es por ello que para completar el análisis, es necesario remodelar los incisos anteriores a una formulación general que permita aplicarse con facilidad a cualquier proceso de evaluación de proyectos viales, y que este muestre riguroso apego a la realidad.

En la gran mayoría de los casos, un proyecto de carreteras implica reducir el tiempo total de viaje, esto de manera simultánea genera un aumento en el precio monetario por utilizar la nueva infraestructura. La reducción del tiempo de viaje está asociada a la reducción significativa de la distancia y el tiempo de viaje entre dos puntos cualesquiera, comparándoseles ante una situación base de no proyecto. Esto supone entonces, una reducción de los costos de operación del vehículo que se está utilizando (como se mencionó anteriormente z) sin embargo, si se consigue la aprobación del proyecto los usuarios deberán pagar un peaje p^1 que en condiciones de proyecto no deben pagar o si se paga es de magnitud menor. De cualquier modo, si un usuario decide utilizar el nuevo proyecto es debido a que los beneficios que obtiene son mayores que la tarifa que debe desembolsar, en otras palabras, porque su precio generalizado disminuye.

Si la expresión de precio generalizado se había definido como $g=p+z+v\tau$ según lo descrito anteriormente, la condición para que el usuario haga uso de una nueva carretera a pesar de que tiene que pagar una tarifa o existe un desembolso superior al actual será:

$$v(\tau^0 - \tau^1)(q^0 - q^1) > p^1 - p^0$$

Redefiniendo la expresión para el excedente percibido por el consumidor y el producto se obtiene

$$\Delta EC - \Delta EP \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) + p^1 q^1 - p^0 q^0 - (C^1 - C^0)$$

Sustituyendo el en la expresión anterior. La ecuación definida del VAN social

$$VAN_s = -I_0 + \frac{BS - CS_1}{1+i} + \frac{BS_2 - CS_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BS_T - CS_T}{(1+i)^T}$$

Se obtiene el Valor Actual Neto VAN en términos de los beneficios:

$$VAN_S = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{\Delta EC_t + \Delta EP_t}{(1+i)^t}$$

Donde,

$$\Delta EC_t = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1)$$

$$\Delta EP_t = p^1 q^1 - p^0 q^0 - C^1 + C^0$$

Es importante mencionar que la expresión deducida del VAN anterior se obtiene de igual manera para las dos metodologías analizadas: tanto para el método de variación de excedentes como para el método de la disposición total a pagar.

Finalmente si se incorpora a la expresión, el tratamiento de externalidades es impuesto. La expresión final de VAN social a tomara en cuenta al momento de evaluar proyectos de carreteras será:

$$VAN_S = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{\Delta EC_t + \Delta EP_t + \psi_t^0 q_t^0 - \varepsilon_t^1 q_t^1 + \varepsilon_t^1 q_t^0}{(1+i)^t}$$

Es importante mencionar que este modelo para evaluación es utilizable bajo los siguientes condicionales:

- a. Los únicos beneficios identificados son los derivados de ahorros de tiempo y los cambios en los costos variables de vehículos e infraestructura.
- b. Existen fondos público disponibles, en caso de no suceda así deberán de ser ajustados mediante los procedimientos de precio sombra que ser vera próximamente. Dicho ajuste únicamente se ha de limitar a multiplicar la inversión por el precio sombra en caso de que la unidad monetaria no coincida.
- c. El objetivo final de le evaluación de un proyecto es rechazar o aceptar un proyecto, por lo que $VAN > 0$ condición suficiente para tomar la decisión. Sin embargo, dicho criterio no puede ser considerado como un criterio suficiente al momento de existir varias alternativas en la que un VAN positivo será requisito por no será elemento único de decisión.

I. La demanda: proyecciones en un proyecto vial

Hasta este punto se ha analizado como la mayor parte de proyectos de infraestructura vial conllevan dos beneficios básicos: las reducciones en los tiempos de viaje y los aumentos en la disposición a pagar una tarifa por hacer uso de dicho nuevo tramo carretero. La medición de los beneficios sociales con el proyecto frente a una situación base de no proyecto presentan algunas peculiaridades en función de su demanda. Y es que la demanda nunca es perfectamente inelástica por lo que esta si se modifica a medida que el precio (importe) que corre a expensas del usuario también lo hace: la demanda responde a los cambios en los precios generalizados y los costos no suelen ser invariables.

En esta sección debe establecerse el rango probable de la demanda durante la vida útil del proyecto. La demanda que se analiza que se refiere naturalmente a aquella pertinente para el proyecto, es decir, aquella que se transcribe por encima de una situación cero o actual. En capítulos anteriores se ha definido los parámetros básicos bajo los cuales se rige la demanda en este tipo de proyectos. El aspecto fundamental para el correcto análisis de la demanda deberá de enfocarse en determinar con precisión el comportamiento del usuario de la nueva carretera en términos cuantitativos, asegurándose siempre de no dejar ignorada cualquier otra variable que muestre incidencia en la dimensión de la demanda del proyecto.

Algunas de estas variables pueden obedecer a identificar cualquier comportamiento migratorio, conocimiento de regiones que sean centros de desarrollo, el decremento de actividades diversas productivas que implican nuevas consideraciones y por ultimo características geográficas que hacen riesgosas ciertas inversiones en determinadas zonas tales como: actividad sísmica, huracanes, inundaciones, etc.

Todo proyecto de infraestructura asociado a carreteras se justifica en medida que supla a una población de individuos para solucionarles necesidades o situaciones específicas. En materia de carreteras esta solución de problemas se expresa en términos de viajes o tránsito de vehículos, como se ha podido observar en el análisis de costos y beneficios.

Reconociendo que el sujeto de un proyecto carretero es el tránsito, es imperativo conocer su comportamiento en términos de crecimiento o decrecimiento a través del tiempo del periodo de vida útil del proyecto. Es así como en un proyecto de pavimentación en un tramo de 20-30 años de vida útil (bajo supuesto de mantenimiento óptimo, ya que si este es deficiente lo más probable es que la vida útil disminuya por debajo de los 20 años) el análisis de la demanda deberá de ir en congruencia con el mismo periodo de años.

Existen varios modelos para predecir el comportamiento de la demanda, la cual ligada está a las proyecciones de uso que tendrá el proyecto, dos son las que destacan: predicciones de viajes en base al comportamiento histórico, predicciones de viajes en base a la elasticidad de la demanda de transporte.

1. Modelo de predicción de viajes en base al comportamiento histórico.

Este modelo requiere de la información histórica de los viajes que se efectúan sobre un punto específico, así mismo se basa en la suposición de que la tendencia que se obtiene del conglomerado de datos estadísticos define el comportamiento futuro. Este modelo es de especial utilizad cuando el proyecto vial en cuestión está asociado a remplazos de caminos. Este tipo de modelos correlacionan variables como población, producto interno bruto PIB, flujo de vehículos por un tramo en cierto periodo de tiempo, entre otras. Tiene la estructura general de una modelo de regresión lineal.

Representación lineal:

$$Y = a_0 + a_1x$$

Representación polinomial:

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots + a_nX^n$$

En donde

Y= predicción de la cantidad de viajes

$a_1..a_n$ = parámetros de comportamiento

$X^1 \dots X^n$ =variables de población, PIB, tipología de vehículos.

Es importante mencionar que este tipo de modelos no es utilizable cuando no se cuenta con información histórica de cualquiera de dichas variables.

2. Modelo de predicción de viajes en base a la elasticidad de la demanda de transporte. La predicción de la demanda es uno de los aspectos insoslayables en el proceso de evaluación económica de un proyecto carretero. La predicción de la demanda de los atributos que presenta la carretera, según la tipología de las mismas estas pueden ser troncales, principales secundarias, colectoras. Dada dichas características el estudio de la elasticidad de la demanda deberá de involucrar variables como el PIB, el transito promedio diario anual (por sus siglas TPDA), la cantidad de vehículos circulando en un momento determinado también llamado parque automotor, índices de precios, datos demográficos, etc. Para mayor exactitud dichas predicciones deberán de ser diferenciadas por tipo de vehículo.

3. Modelo de generación de viajes. En este modelo se describe la tendencia que se presenta al momento de viajar o hacer uso de las carreteras, toma en consideración variables elementales como las características demográficas, la accesibilidad actual de los medios de transporte, etc. Los viajes se agrupan por propósito en 6 categorías; trabajo, negocio, compras, recreación, viaje basada en el hogar y viaje basado por motivo independiente al hogar. Esta información es útil ya que por ejemplo en el caso urbano entre el 70 y 70 por ciento de los viajes son utilizando el hogar como punto pivote.

Este tipo de modelos es de gran utilizada al aplicar evaluación de proyectos que tienen como zona lugares con un alto índice de concentración urbana, para lo cual se hace indispensable la división del conglomerado de la zona de influencia en varias zonas de origen o destino, así como creadoras o atractoras de viajes.

4. Modelo de distribución de viajes. Este modelo se desarrolla a partir de información como los viajes proyectados por el modelo anterior (generación de viajes) la función de este modelo es agrupar los viajes del modelo de generación de viajes por propósito y por origen-destino. El más conocido de este tipo de modelos es el denominado modelo de gravedad, que viene dado por la siguiente expresión:

$$T_{ij} = P_i * \left[\frac{A_j * F_{ij} * k_{ij}}{\sum_{k=1}^n A_k * F_{ik} * K_{ik'}} \right]$$

En donde,

T_{ij} = Número de viajes entre el punto i y el punto j por propósito específico

P_i = Total de viajes producidos en el punto i por dicho propósito

A_i = Total de viajes atraídos al punto k por dicho propósito

F_{ij} = Función inversa de separación entre el punto i y el punto j

K_{ij} = Factor de corrección entre el punto i y el punto j por diferencias socioeconómicas

N = Total de puntos por modelar

5. Modelo de asignación de tráfico. El propósito de este modelo es asignar de modo óptimo el tráfico por entre dos puntos, usando a disposición las rutas existentes en la red de transporte. Lo que se obtiene es el volumen contabilizado de transporte en cada sector de la ruta para cada origen destino definido. La asignación hace una distinción: separa el transporte público del privado.

6. Modelo de distribución por modo de transporte. Este modelo es utilizado con el objetivo de predecir la cantidad de viajes, su importancia de modo similar al modelo de asignación de tráfico es que permite delimitar las proyecciones de viaje para transporte público y privado.

J. Riesgo e incertidumbre

1. El riesgo y sus componentes. El riesgo es el elemento básico asociado a cualquier proceso de formulación y evaluación económica, es un elemento difícil de cuantificar y es que a pesar de que todo se ve afectado por el riesgo, la dificultad de su determinación radica en el hecho de que este se basa en supuestos. A pesar de esto, se procura que la determinación del riesgo sea lo menos compleja posible, esto con el propósito de que cualquier agente que participe del proceso de su reducción, pueda desempeñarse de la mejor manera.

Si la evaluación en proyectos de carreteras dejase a un lado el elemento de riesgo e incertidumbre, el modelo sería de carácter determinista y poco realista, y es que el elemento riesgo se hace presente desde el inicio del proceso de implementación de un proyecto carretero. El componente riesgo es un elemento insoslayable en cualquier proceso de evaluación económica asertiva, el cual dota de flexibilidad ante la toma de decisiones al administrador del proyecto. Y es que no considerarlo sugiere que las variables son conocidas con certeza lo que las convierte en variables fijas que no cambian ante condiciones y parámetros atendidos.

El riesgo se encuentra estrechamente ligado al concepto de vulnerabilidad, la cual es definida *por Mendoza, Ginesen* en el documento *Evaluación económica de proyectos de transporte*: como « la existencia de varios resultados posibles que pueden darse durante la vida del mismo» (2006:14) del mismo modo, el BID establece que existen dos tipos de incertidumbre asociada:

a. Incertidumbre en un sentido estricto, es decir, el hecho de que existan opciones diferentes cuya ocurrencia afecta al flujo de beneficios y costos, como por ejemplo, la demanda alta o baja, los precios de los inputs a una mayor tasa.

b. Incertidumbre asociada al proceso de evaluación y que puede darse incluso si no existe incertidumbre en sentido estricto. Se trata de la información disponible sobre el valor del tiempo o las elasticidades de la demanda con respecto al precio y a la renta.

c. La incertidumbre por el factor humano. Los factores humanos pueden hacer que un proyecto se ajuste o no a lo esperado, a veces se cometen errores en la predicción de la demanda, en el diseño de la obra o en la confección del presupuesto del proyecto. Suele ser muy frecuente que la demanda se sobreestime y los costes se subestimen, en otras palabras el riesgo suele ser sistemático a favor del proyecto.

2. Variables sujetas a incertidumbre. Hasta el momento se ha visto como el modelo de evaluación que se propone en esta investigación está compuesto de diversas variables. La incertidumbre incide sobre éstas de manera específica y en modo particular. Se describe a continuación tres maneras de incertidumbre sobre dichas variables (las cuales no son mutuamente excluyentes): primero, la incertidumbre sobre los costos de inversión inicial del proyecto. Éstas generalmente se dan cuando el proyecto se atrasa en cuantos a los tiempos estimados de la obra o cuando el presupuesto previsto se queda corto al presupuesto real. En estos casos la incertidumbre se deriva de la dificultad de conocer a ciencia cierta el consumo de los inputs del proyecto como mano de obra, materiales, energía, etc. o bien en el surgimiento de cambios en los precios de dichos inputs. Segundo, existe la incertidumbre asociada al cálculo de la rentabilidad del proyecto, dígase Valor Actual Neto o VAN, este se origina desde la cuantificación de los beneficios del proyecto, el cual una vez más radica en la dificultad de conocer con precisión la demanda, ya que es altamente complicado definir el comportamiento del tráfico que experimentará el nuevo proyecto en cuestión, así como la elasticidad de precio. Tercero, la tercer fuente d incertidumbre en las variables del modelo aquí propuesto se es de carácter metodológico, el cual se refiere a la dificultad de predecir con contundencia la situación para con proyecto o sin proyecto. Estas fuentes de incertidumbre tienen un impacto variable en los valores finales del VAN del proyecto, es por ello que un análisis de riesgo debe de ser capaz de considerar dichas variaciones y simular la probabilidad de ocurrencia de las mismas.

3. Consideración de la incertidumbre en el modelo de evaluación. La modelización de la incertidumbre está sujeta a las siguientes etapas según Savvides, S. En Riskanalysis in investment appraisal, proyecto Appraisal.(1994:3-18)

a. Planteamiento formal del proyecto.

- b. Selección de las variables del proyecto.
- c. Modelización de las distribuciones de probabilidad.
- d. Simulación de posibles resultados del proyecto.

En el planteamiento del proyecto la modelización formal del proyecto requiere que este se simplifique a fin de hacer manejable el complejo conjunto de interrelaciones entre las variables que conforman el proyecto. Se busca crear un modelo simplificado asociado a la realidad con el fin de predecir de la mejor manera todos los costos y beneficios del proyecto, en consecuencia poder calcular con mucho mejor criterio el VAN asociado al proyecto. Los principales parámetros que deben ser incluidos son los costos de inversión inicial, las anualidades o costos de mantenimiento, costos fijos y variables de operación, la demanda y la tasa de interés o el valor del dinero en el tiempo. Tal y como se mencionó al inicio de esta investigación para el caso de los costos y la demanda, muchas veces para un cálculo mucho mejor aproximado conviene descomponer en múltiples segmentos (por tramos, tipos de viajeros, etc.). Sin embargo, esto será determinado por la calidad de la información disponible para la evaluación del proyecto.

Como segundo aspecto se encuentra la selección de variables del proyecto. En esta etapa lo importante es considerar de la totalidad de las variables solo aquellas cuya probabilidad de modificarse y en trastornar los resultados netos de la evaluación del proyecto sea latente. Para que una variable no sea contabilizada de cumplir con las siguientes condiciones: tener un alto impacto si cambian pero cuyo cambio es improbable que se dé y tener poco impacto pero si cambian su impacto no será significativo para los propósitos de evaluación.

El motivo por el cual es necesario en reducir en su máxima expresión el número de variables obedece a que entre más variables se contabilicen más difícil será establecer interrelaciones entre las variables, en consecuencia, la inconsistencia será mayor. Reducir la cantidad de variables permite, por otra parte, orientar hacia dónde deben dirigirse la rigidez al momento de evaluar.

Como tercer etapa se tienen las distribuciones de probabilidad ante las variables de riesgo, en buena medida en este tipo de proyectos la incertidumbre tal y como se explicó anteriormente proviene de lo complejo que resulta predecir comportamientos de demanda y de algunos de los costos asociados. Ante la imposibilidad de cuantificar con total precisión dichos elementos, un valioso elemento de análisis consiste en emplear distribuciones de probabilidad, una distribución de probabilidad puede estar definida según los parámetros que el evaluador aporte. Hay varios tipos de probabilidades según su distribución (Tabla 4). La importancia de estas gráficas radica en que estas muestran los posibles comportamientos de la variable así como su correspondiente probabilidad de ocurrencia.

Tabla 64: Tipos de distribución probabilística más utilizados para el análisis de riesgo (uniformes y discretas)

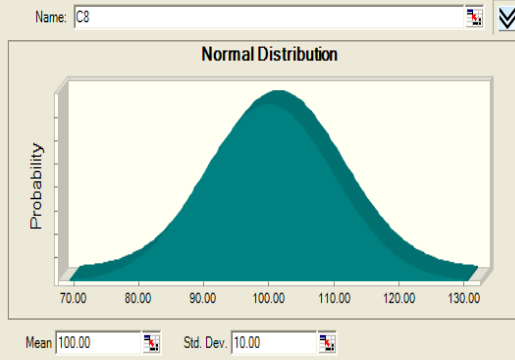
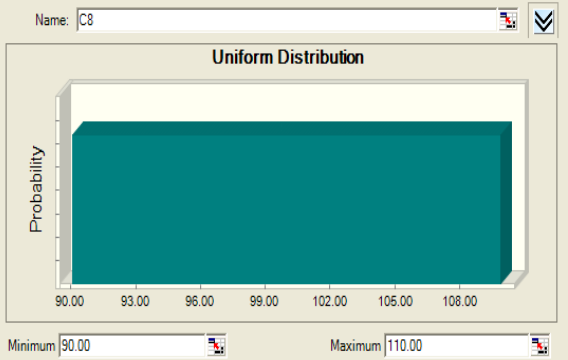
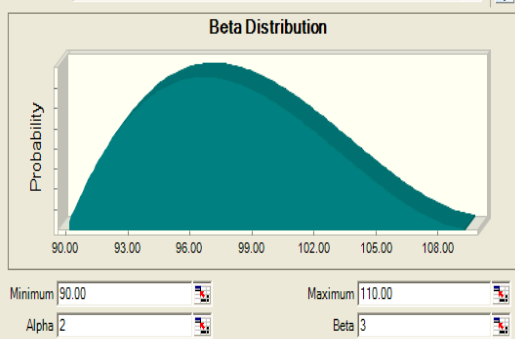
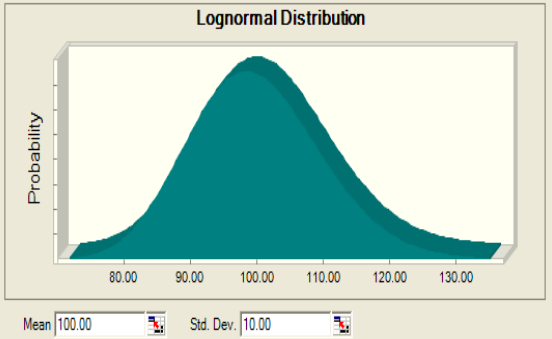
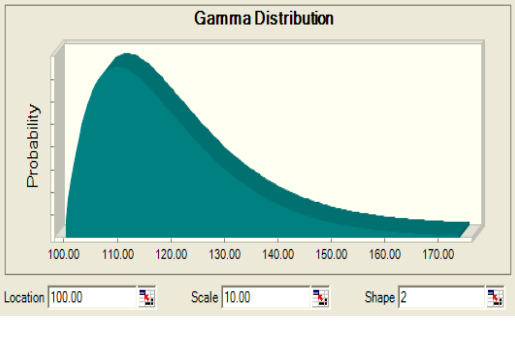
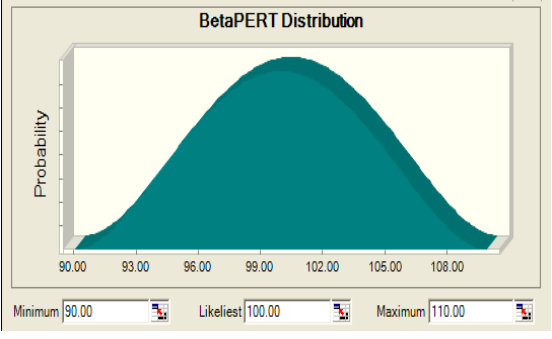
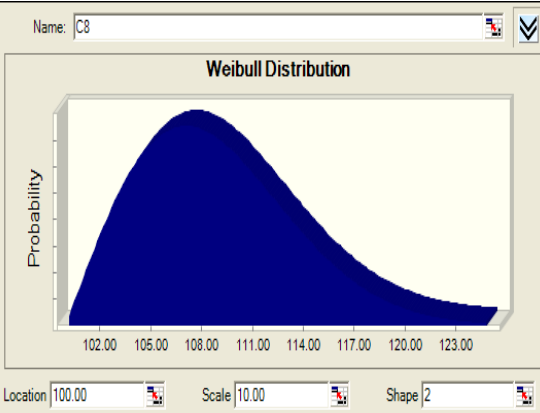
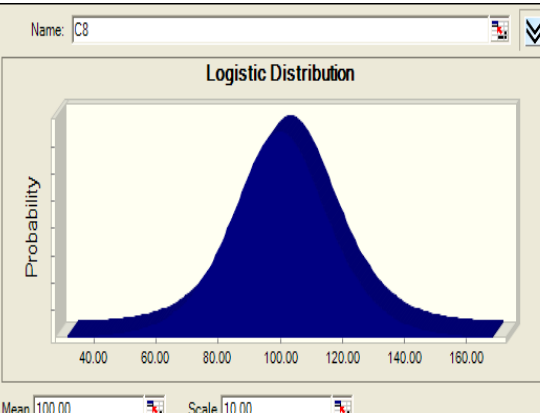
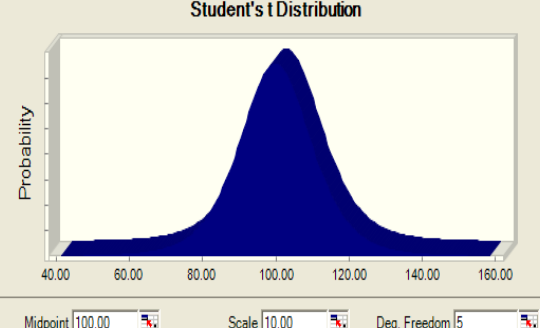
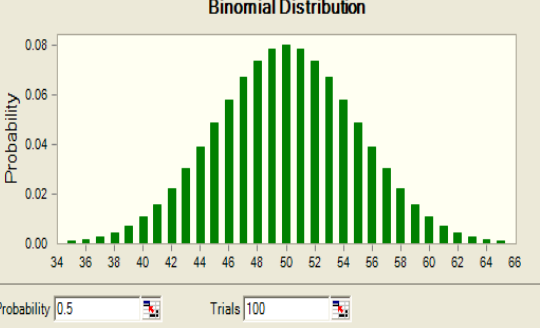
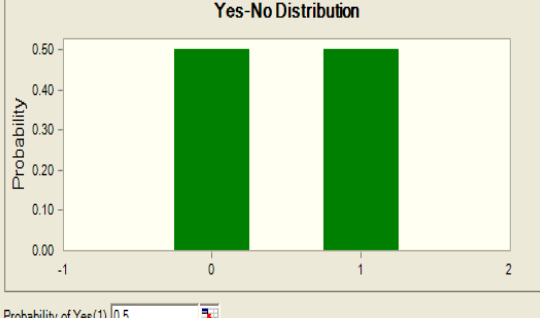
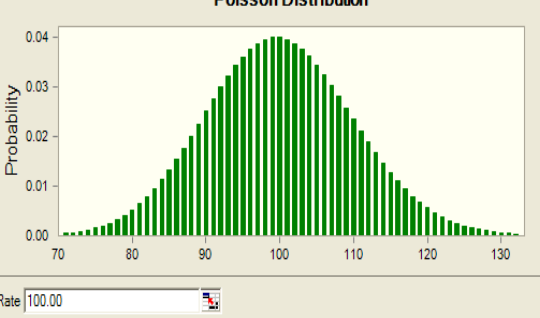
<p style="text-align: center;">Distribución Normal</p>  <p>Name: C8</p> <p>Mean: 100.00 Std. Dev: 10.00</p>	<p style="text-align: center;">Distribución uniforme</p>  <p>Name: C8</p> <p>Minimum: 90.00 Maximum: 110.00</p>
<p style="text-align: center;">Utiliza como parámetros la desviación estándar y la media</p>	<p style="text-align: center;">Utiliza como parámetros un valor mínimo y máximo de ocurrencia</p>
<p style="text-align: center;">Distribución Beta</p>	<p style="text-align: center;">Distribución Log normal</p>
 <p>Name: C8</p> <p>Minimum: 90.00 Maximum: 110.00</p> <p>Alpha: 2 Beta: 3</p>	 <p>Name: C8</p> <p>Mean: 100.00 Std. Dev: 10.00</p>
<p style="text-align: center;">Utiliza de parámetros un mínimo y un máximo de ocurrencia y los estadísticos alfa y beta</p>	<p style="text-align: center;">Utiliza como parámetro la media y la desviación estándar, su base es logarítmica</p>
<p style="text-align: center;">Distribución Gamma</p>	<p style="text-align: center;">Distribución Pert Beta</p>
 <p>Name: C8</p> <p>Location: 100.00 Scale: 10.00 Shape: 2</p>	 <p>Name: C8</p> <p>Minimum: 90.00 Likeliest: 100.00 Maximum: 110.00</p>
<p style="text-align: center;">Utiliza como parámetro una escala, localización y una forma entera</p>	<p style="text-align: center;">Utiliza como parámetro un valor mínimo, un máximo y el más probable</p>

Tabla 65: Continuación de distribuciones de probabilidad

<p style="text-align: center;">Distribución Weibull</p>  <p>The plot shows a Weibull Distribution curve. The x-axis ranges from 102.00 to 123.00 with major ticks every 3.00. The y-axis is labeled 'Probability'. The curve starts at 102.00, rises to a peak at approximately 108.00, and then gradually tapers off towards 123.00. Below the plot, there are control fields: 'Location' set to 100.00, 'Scale' set to 10.00, and 'Shape' set to 2.</p>	<p style="text-align: center;">Distribución Logística</p>  <p>The plot shows a Logistic Distribution curve. The x-axis ranges from 40.00 to 160.00 with major ticks every 20.00. The y-axis is labeled 'Probability'. The curve is bell-shaped and centered at 100.00. Below the plot, there are control fields: 'Mean' set to 100.00 and 'Scale' set to 10.00.</p>
<p style="text-align: center;">Distribución que utiliza periodos, razones y otros términos físicos para ajustarse</p>	<p style="text-align: center;">Describe el número de veces que ocurre un evento en un numero de intentos</p>
<p style="text-align: center;">Distribución T student</p>	<p style="text-align: center;">Distribución Binomial</p>
<p style="text-align: center;">Student's t Distribution</p>  <p>The plot shows a Student's t Distribution curve. The x-axis ranges from 40.00 to 160.00 with major ticks every 20.00. The y-axis is labeled 'Probability'. The curve is bell-shaped and centered at 100.00. Below the plot, there are control fields: 'Midpoint' set to 100.00, 'Scale' set to 10.00, and 'Deg. Freedom' set to 5.</p>	<p style="text-align: center;">Binomial Distribution</p>  <p>The plot shows a Binomial Distribution bar chart. The x-axis ranges from 34 to 66 with major ticks every 2. The y-axis is labeled 'Probability' and ranges from 0.00 to 0.08 with major ticks every 0.02. The bars are green and form a bell-shaped distribution centered at 50. Below the plot, there are control fields: 'Probability' set to 0.5 and 'Trials' set to 100.</p>
<p style="text-align: center;">Describe el comportamiento de un fenómeno dado grados de libertad</p>	<p style="text-align: center;">Distribución discreta dicta el número de veces que ocurre un evento</p>
<p style="text-align: center;">Distribución si-no</p>	<p style="text-align: center;">Distribución Poisson</p>
<p style="text-align: center;">Yes-No Distribution</p>  <p>The plot shows a Yes-No Distribution bar chart. The x-axis has values -1, 0, 1, and 2. The y-axis is labeled 'Probability' and ranges from 0.00 to 0.50 with major ticks every 0.10. There are two green bars: one at x=0 with a height of 0.50, and one at x=1 with a height of 0.50. Below the plot, there is a control field: 'Probability of Yes(1)' set to 0.5.</p>	<p style="text-align: center;">Poisson Distribution</p>  <p>The plot shows a Poisson Distribution bar chart. The x-axis ranges from 70 to 130 with major ticks every 10. The y-axis is labeled 'Probability' and ranges from 0.00 to 0.04 with major ticks every 0.01. The bars are green and form a bell-shaped distribution centered at 100. Below the plot, there is a control field: 'Rate' set to 100.00.</p>
<p style="text-align: center;">Distribución con entradas binaria</p>	<p style="text-align: center;">Probabilidad dado un intervalo de tiempo</p>

Habiendo conocido las posibles distribuciones de probabilidad para ejecutar una simulación y así reducir el grado de incertidumbre de los valores esperados para el VAN del proyecto, es necesario indicar que las distribuciones probabilísticas más utilizadas son: la distribución uniforme, la distribución triangular, distribución normal y la distribución basada en observaciones reales. La clave es saber cuándo utilizar cada una de ellas, una buena estrategia a adoptar es definir con qué tipo de información se cuenta: cuando la información disponible se limita a valores mínimos y máximos la distribución a elegir será la distribución uniforme que se caracteriza por igual probabilidad de ocurrencia a los valores comprendidos entre el valor mínimo y máximo. Ahora bien, se dispone de información como el valor más probable de ocurrencia se puede elegir una distribución triangular, se cuenta con información como la desviación estándar y la media se puede considerar utilizar una distribución normal, finalmente si la información se basa en histórico de datos se puede construir un histograma de frecuencias propio basado en observaciones reales.

Estas distribuciones se usan con el fin de ejecutar simulaciones a fin de predecir compartimentos futuros del proyecto y su probabilidad de ocurrencia asociada, es por ello que las simulaciones deberán de ser consistentes.

Una técnica popular de simulación es la conocida como simulación de Montecarlo el cual asigna probabilidades de ocurrencia de forma aleatoria, para efectuar estas precisas simulaciones es necesario muchas veces contar con el apoyo de un software especializado para efectuar dichos cálculos, uno de los más conocidos es el *CrystalBall*, el cual es una poderosa herramienta que funciona desde una hoja de cálculo ordinaria. (Se ha desarrollado un capítulo individual para ahondar en la técnica de Montecarlo y el uso de dicho software, ver capítulo H).

Continuando con el concepto de incertidumbre es necesario que evaluador considere al momento de modelar el proyecto las relaciones económicas y de carácter técnico que existe entre las variables consistentes, de lo contrario de los resultados arrojados después de efectuarse la simulación pueden carecer de validez.

Una buena medida para evitar que el programa genere resultados carentes de validez, consistente en crear una matriz con correlaciones en la que se asignen valores entre -1 y 1 indicándole al programa la relación existente entre una y las demás variables.

4. Criterios de decisión al contabilizar las incertidumbres asociadas al proyecto. Habiendo ejecutado la simulación (la cual se indica paso a paso como ejecutarla en el capítulo H) el programa habrá efectuado un número significativo de iteraciones, en donde cada iteración habrá representado un escenario posible por ocurrir. Esto es una herramienta esencial ya que por defecto el VAN del proyecto deja de ser una cifra estática y única, ya que ahora se dispone de una distribución de probabilidad de los resultados del proyecto, lo cual permite de forma sustancial una toma de decisión

mucho mejor fundamentada, ya que con las simulaciones de Montecarlo el riesgo de tomar una decisión equivocada disminuye tras un análisis de riesgo bien elaborado.

En consecuencia los criterios de decisión se rigidizan, entre estos criterios se pueden aglutinar entre dos grupos:

a. Decidir sobre un proyecto único, el cual presenta tres posibilidades:

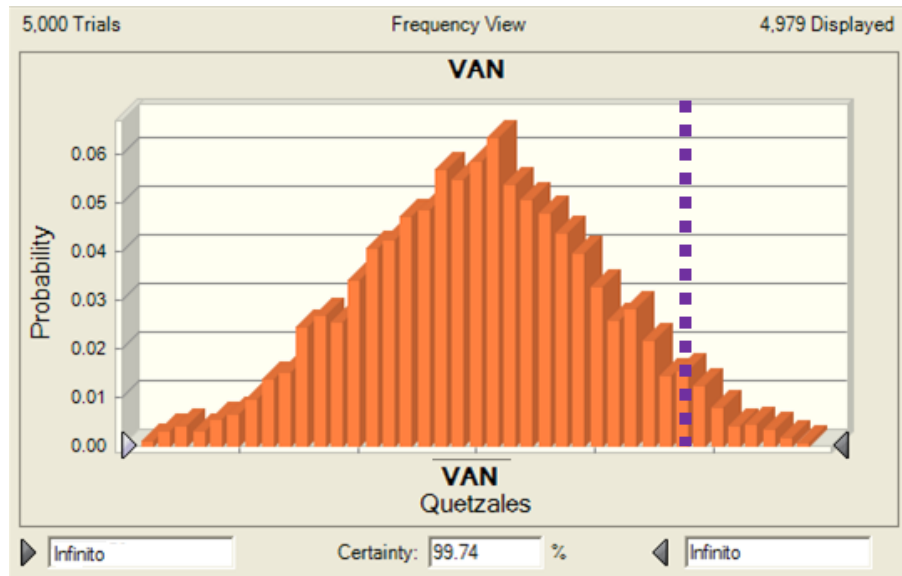
- 1) Caso a: Rechazar siempre el proyecto
- 2) Caso b: Aceptar el proyecto condicionando a la evaluación financiera.
- 3) Caso c: Aceptar, rechazar y/o revisar el proyecto

b. Decidir entre dos o más proyectos, el cual presenta tres posibilidades:

- 1) Caso d: Un proyecto siempre resulta preferible a otro.
- 2) Caso e: La selección depende del resultado financiero.
- 3) Caso f: La selección depende de la actitud ante el riesgo

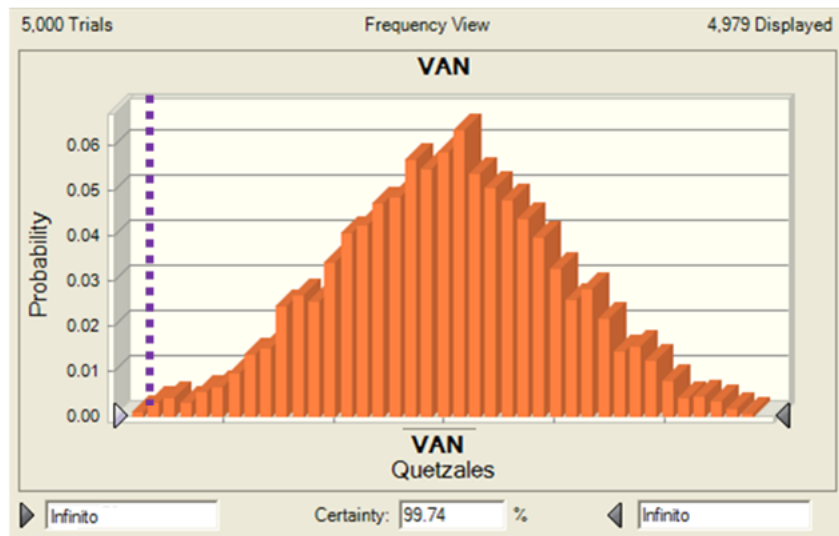
Caso A: rechazar siempre un proyecto: cuando la evaluación de un proyecto único arroja como resultado un VAN social siempre menor a cero, ni siquiera es necesario evaluar el VAN financiero, se rechaza el proyecto.

Ilustración 81: Rechazar un proyecto siempre



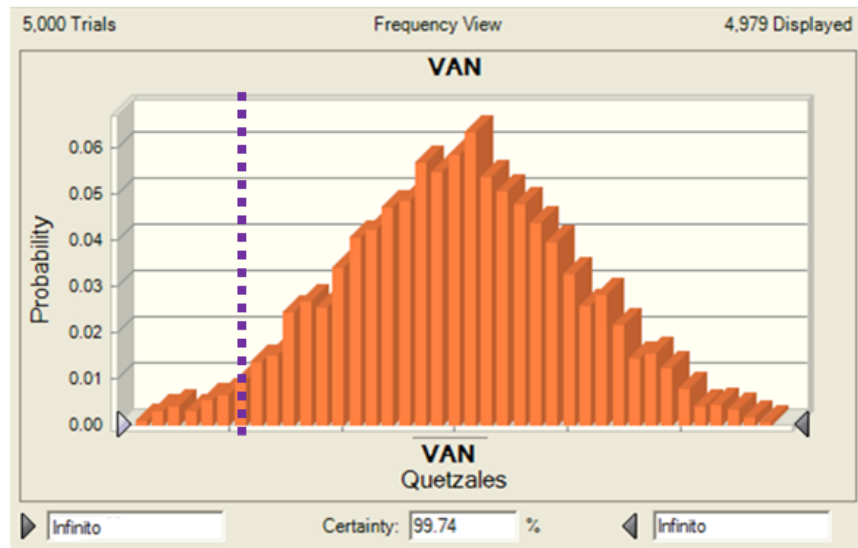
Caso B: Aceptación condicionada del proyecto, esta situación ocurre cuando la distribución de probabilidades siempre se encuentra por delante del valor cero, en consecuencia el VAN social es siempre positivo, sin embargo, esto no significa en que el proyecto deberá de realizarse, solo si el VAN financiero es igual o mayor que cero, el proyecto deber ser aceptado. Si el VAN financiero fuera menor que cero y existieran restricciones presupuestarias deberían examinarse otras políticas de precisión, deberían de examinarse otras políticas

Ilustración 82: Aceptar un proyecto condicionalmente



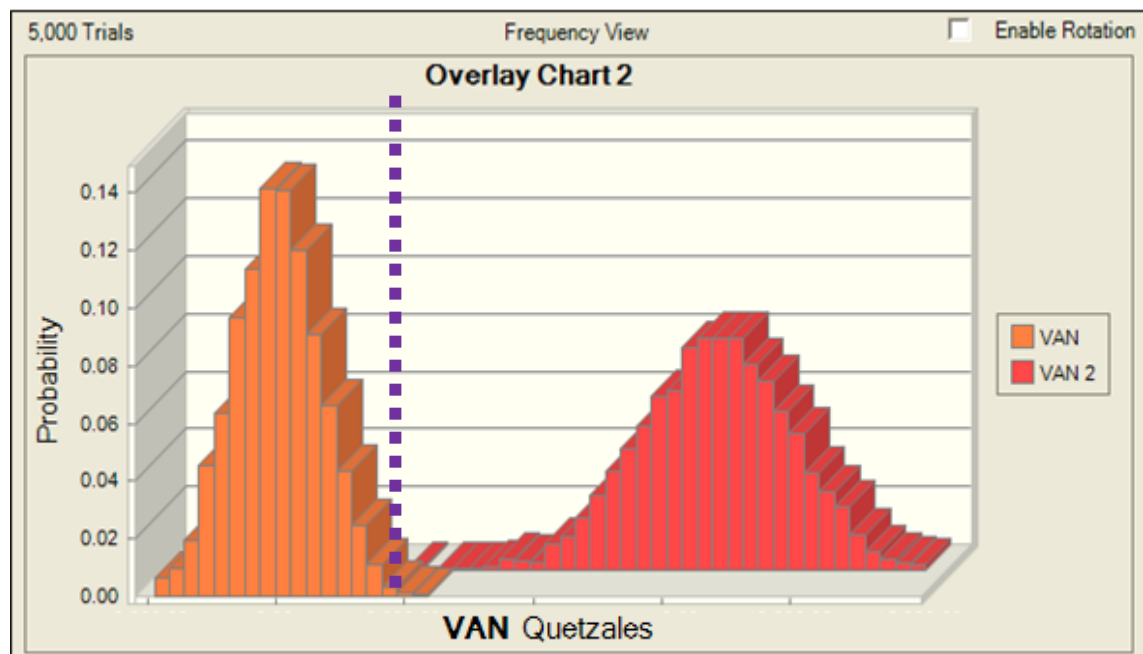
Caso C: aceptar, rechazar o revisar, este caso ocurre cuando el valor de VAN registrado un valor de cero se encuentra con un valor mínimo menor a cero y un valor máximo mayor a cero (es decir, el VAN se encuentra en un valor intermedio). Para estos casos, el análisis deberá enfocarse en analizar con detenimiento el VAN ya que este puede tomar tanto positivo como negativo.

Ilustración 83: Aceptar, rechazar o revisar un proyecto



5. Decidir entre dos o más proyectos. Caso D: Un proyecto es siempre mejor que otro, cuando la decisión consiste en elegir entre proyectos alternativos, una opción A o B, una primera y sencilla posibilidad sería que uno de los proyectos siempre resultara mejor o peor. Cuando las correspondientes distribuciones de probabilidad no se cruzan en ningún punto y una de ellas es claramente preferible, se observa que la distribución del VAN social del proyecto B toma siempre valores más altos que el A. Sin embargo, ello no significa automáticamente que el proyecto deba realizarse y se requiere además un VAN financiero positivo. Ahora bien, en el caso de que el proyecto B tuviese un VAN financiero negativo es aplicable el caso B, el cual es la aceptación condicionada

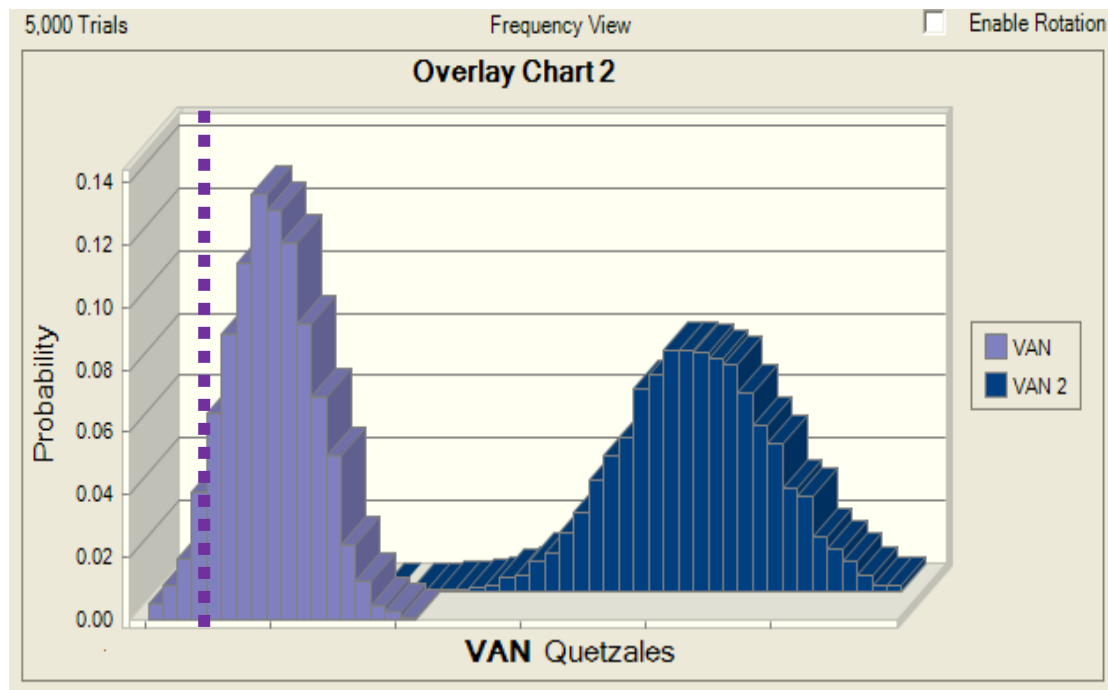
Ilustración 84: Caso en el que un proyecto es preferible a otro



Caso E: Cuando la selección depende del resultado financiero y de riesgo, estos casos ocurren cuando las distribuciones de los distintos VAN para cada proyecto comparten valores en común, en estas ocasiones la elección dependerá del VAN financiero de sendos proyectos. Si el VAN del proyecto financiero es positivo en ambos, deberá de elegirse el que tenga el VAN esperado de magnitud mayor, ahora bien, si el VAN financiero es negativo para ambos proyectos deberán de examinarse una vez más los criterios y políticas definidas para los precios. Si el VAN financiero de un proyecto A es mayor que cero y el VAN asociado al proyecto B es menor que cero, entonces deberá de elegirse el proyecto A, siempre que el VAN social esperado y el riesgo asociado al proyecto A no se considere un problema. En la Ilustración

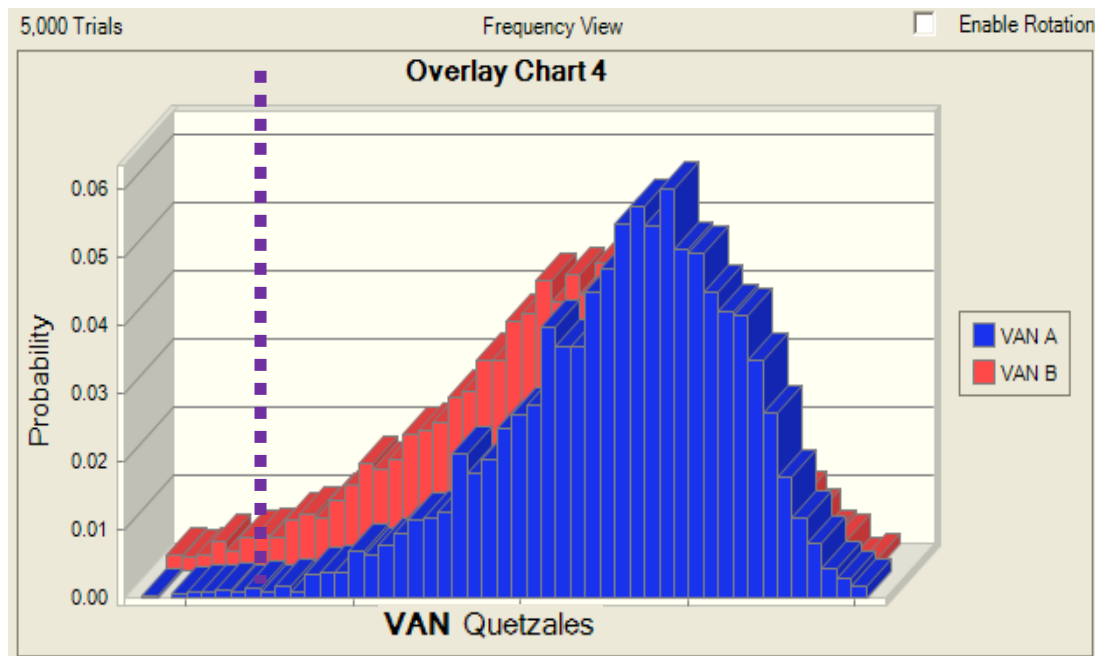
84 se muestra un ejemplo de este caso, es importante hacer notar que para este caso la probabilidad de obtener un VAN menor a cero, es relativamente baja para ambos proyectos (A y B) de modo que, el VAN por elegir será el que presente el mayor valor positivo entre ambos proyectos.

Ilustración 85: Caso para el cual la elección del VAN dependerá del resultado financiero



Caso F: cuando la decisión depende del riesgo y del resultado financiero, este caso ocurre cuando se debe elegir entre dos proyectos A y B, no obstante, las distribuciones de probabilidad de ambos se cortan, la elección dependerá entonces del VAN financiero de ambos proyectos y del riesgo asociado a los mismos: Primero. Si el VAN financiero es positivo deberá elegirse el que tenga mayor magnitud, ahora bien, si la probabilidad de ocurrencia es sustancialmente distinta deberá elegirse el que tenga mayor probabilidad de ocurrencia ya que por el otro lado, el otro será considerablemente riesgoso. Segundo, si el VAN financiero es negativo en A y B y en ellos existen restricciones presupuestarias deberá examinarse de nuevo el proyecto. Tercero, si el VAN financiero del proyecto A es mayor que cero y el de B es menor que cero entonces debe elegirse el proyecto A, salvo que el VAN social no lo permita.

Ilustración 86: Caso para el cual la elección del VAN dependerá del resultado financiero



6. Decisión de postergar un proyecto. Hasta ahora se han visto 6 criterios de decisión al contabilizar la incertidumbre como elemento insoslayable en todo proceso de evaluación de un proyecto vial. Sin embargo, una consideración más merece ser analizada: es el caso en el que retrasar un proyecto se convierte en una situación viable. Generalmente se está acostumbrado a considerar únicamente opciones que estén relacionadas con la ejecución o no de un proyecto, difícilmente se considera la opción de retrasar un proyecto. En un escenario idóneo en donde el VAN social y financiero esperado arrojan resultados mayores a cero, muchas veces es conveniente analizar la alternativa de aplazar la ejecución de un proyecto, esto con el fin de que la demanda futura esperada sea mayor o que incluso no se cuente con la cantidad de información necesaria. Para este criterio se consideran dos posibilidades: cuando no se cuenta con información adicional por el hecho de postergar un proyecto bien cuando retrasar el proyecto se cuenta con información adicional.

En ocasiones retrasar un proyecto muestra información valiosa que puede perderse cuando se realiza la inversión en el momento actual. Cuando la inversión no es reversible, la demanda está sujeta a incertezas y la decisión de invertir puede retrasarse, existe entonces un costo de oportunidad asociado de realizar la inversión en el presente.

K. La simulación del proyecto mediante la técnica de Montecarlo.

El método de Montecarlo es una técnica que permite simular los resultados en los que puede incurrir el VAN del proyecto vial, esto bajo la asignación al azar de un valor para cada variable definida en calidad de incierta (como se vio al inicio de este apartado de la investigación). Se entiende por número aleatorio como aquel que se genera de modo que su probabilidad de ocurrencia es siempre la misma y de modo independiente al resto de las variables. Estos valores aleatorios permiten que se obtenga una cantidad extensa de resultados posibles de tal modo que los resultados de la prueba se aproximen a la distribución deseada. La principal diferencia entre el método de Montecarlo y el análisis de sensibilidad (los cuales al final buscan predecir comportamientos futuros) radica en el hecho de que en el análisis de sensibilidad los valores son definidos en base al criterio del evaluador con lo que se aproximan escenarios probables, pesimistas y optimistas, mientras tanto en el método Montecarlo se estiman los escenarios en función de su distribución de probabilidad, consiguiendo información mucho más extensa, a pesar de que en esta técnica la optimización de resultados quedara siempre en manos del que interprete las simulaciones efectuadas con dicho método.

La simulación de Montecarlo es una herramienta de suma capacidad proyectiva, sin embargo, requiere de un proceso tedioso de cálculos de probabilidades y distribuciones, para ello hoy en día se encuentran poderosas herramientas informáticas capaces de ejecutar dichas simulaciones en números incluso mayores de los 99000 trial en tan solo cuestión de segundos, *CrystalBall* es el software que marca la pauta en este tipo de software especializados. Es por ello que en este manual se introduce como utilizar dicha herramienta, como elemento esencial en la metodología de evaluación de proyectos de carreteras que en esta investigación se presenta.

1. Utilización de CrystalBall para el método de Montecarlo. Para aplicar la técnica de simulación de escenarios mediante el método de Montecarlo utilizando el software CrystalBall es necesario seguir una secuencia de 6 pasos:

a. Construir el flujo de caja compuesto por costos y benéficos y el beneficio neto, y a las celdas que se les aplicara la simulación deberán de estar referenciadas.

b. Seleccionar la distribución de probabilidad para cada una de las variables en donde se realizará la iteración. Esto se hace en la pestaña define *Assumption* y en ella selecciona la distribución deseada y se introduce los parámetros que solicita el software.

c. La función en la cual se aplicará el pronóstico será el Valor Neto Actual VAN por lo que se selecciona dicha celda y se selecciona en la pestaña *DefineForecast* (se agrega la unidad de medidas: Quetzales, etc.)

d. En la opción *RunPreferences* se seleccionan las preferencias a considerar al momento de que el software ejecute la simulación, ya sea definiendo el número de iteraciones, nivel de confianza. Así mismo se selecciona que resultados desarrollará: análisis de correlación, de optimizaciones, de sensibilidad, etc.

e. Ejecutar la simulación haciendo clic en *StartSimulation*.

f. Analizar la información obtenida de manera automática y el universo de datos estadísticos y tendencias que el programa desarrolla de modo simultáneo a la ejecución de la simulación.

La simulación de distintos escenarios mediante técnicas altamente eficaces como lo es el método de Montecarlo inicia con que cada variable a simular debe tener alguna forma de distribución de probabilidades (en el software el usuario elige la distribución de conveniencia de un grupo posible de distribuciones, que se presentan. Ver Tabla 16)

Como paso inicial se construye el flujo de caja, este claro esta deberá de estar construido en referencia a las celdas y de las variables determinantes que se pretenden modificar (tal y como se muestra en la tabla siguiente)

Tabla 66: Construcción de flujo de caja del proyecto (valores con fines explicativos)

Demanda	Beneficios	Costos	VAN
0	0	10875	-10875
50	11875	11875	0
100	22500	12875	9625
150	31875	13875	18000
200	40000	14875	25125
250	46875	15875	31000
300	52500	16875	35625
350	56875	17875	39000
400	60000	18875	41125
450	61875	19875	42000
500	62500	20875	41625
550	61875	21875	40000
600	60000	22875	37125
650	56875	23875	33000
700	52500	24875	27625
750	46875	25875	21000
800	40000	26875	13125
850	31875	27875	4000
900	22500	28875	-6375
950	11875	29875	-18000
1000	0	30875	-30875

Habiendo construido el flujo de caja se procede a ejecutar el software CrystalBall, que se activará incorporándose a la hoja de cálculo, como se muestra a continuación:

Ilustración 87: Vista General del programa CrystalBall en ejecución

ejercicio [Sólo lectura] - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos Crystal Ball

Define Assumption Define Decision Define Forecast Copy Paste Clear Select Freeze Cell Pres Start Stop Reset Step Tools Save or Restore Run Preferences View Charts Create Report Extract Data Help Resources About

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2									
3									
4									
5			Demanda	Beneficios	Costos	VAN			
6			0	0	10875	-10875			
7	PTO DE INFLEXION	50	11875	11875	0				
8		100	22500	12875	9625				
9		150	31875	13875	18000				
10		200	40000	14875	25125				
11		250	46875	15875	31000				
12		300	52500	16875	35625				
13		350	56875	17875	39000				
14		400	60000	18875	41125				
15	UTILIDAD MAX APPROX	450	61875	19875	42000	... DERIVANDOLO: dx=-230/-,5= 460 unidades , UTILIDAD: 42			
16	CON INGRESOS MAXIMOS	500	62500	20875	41625				
17		550	61875	21875	40000				
18		600	60000	22875	37125				
19		650	56875	23875	33000				
20		700	52500	24875	27625				
21		750	46875	25875	21000				

Estas son las opciones que se activan al momento de ejecutar el programa

A continuación se hace clic en define *assumption* y se define el tipo de distribución a que se desea utilizar para la simulación de escenarios.

Ilustración 88: Distribución de probabilidades disponibles para la simulación

Distribution Gallery: Cell I8

Edit View Categories Help

All Basic Favoritos

Normal Triangular Uniform Lognormal Beta BetaPERT Gamma Weibull

Max Extreme Min Extreme Logistic Student's t Exponential Pareto Binomial Poisson

Hypergeometric Neg Binomial Geometric Discrete Uniform Yes-No Custom

Custom Description:
With a custom distribution, you can describe a series of unweighted values, weighted values, continuous ranges, or discrete ranges for unique situations that cannot be described by the other distribution types.
The parameters for custom distribution vary depending on the type of data being entered.

A continuación se define qué celdas de la hoja de cálculo van a ser parametrizadas con la distribución recién seleccionada. El programa la referencia marcándolas de color verde. Es importante señalar que para poder efectuar este paso, las celdas a seleccionar deberán de ser valores puros, es decir, no estar referenciados a ninguna celda.

Ilustración 89: Celdas con assumption definida

	Demanda	Beneficios	Costos	VAN	
6	0	0	10875	-10875	
7	PTO DE INFLEXION	50	11875	11875	0
8		100	22500	12875	9625
9		150	31875	13875	18000
10		200	40000	14875	25125
11		250	46875	15875	31000
12		300	52500	16875	35625
13		350	56875	17875	39000
14		400	60000	18875	41125
15	UTILIDAD MAX APPROX	450	61875	19875	42000
16	CON INGRESOS MAXIMOS	500	62500	20875	41625
17		550	61875	21875	40000
18		600	60000	22875	37125
19		650	56875	23875	33000
20		700	52500	24875	27625
21		750	46875	25875	21000
22		800	40000	26875	13125
23		850	31875	27875	4000
24		900	22500	28875	-6375
25		950	11875	29875	-18000
26		1000	0	30875	-30875

Tal y como se muestra en la Ilustración 88 las celdas que corresponde a la columna demanda están marcadas por color verde, este indica que ya han sido parametrizadas como *assumptions*, y sobre ellas se realizaran las iteraciones, en este caso se definió que tendrán una distribución normal con una media Y, y una desviación estándar de Z.

Ahora corresponde seleccionar que variables se desean pronosticar. Esto se traduce en definir la(s) variable(s) que mostrara su comportamiento para distintos escenarios futuros así como la probabilidad de ocurrencia asociada para cada uno de estos escenarios. Para este ejemplo el variable sobre la cual se desea determinar su comportamiento futuro así como la probabilidad de ocurrencia de los mismos será la columna de Valor Actual Neto. El programa por defecto la marca de color amarillo.

Para ejecutar este paso se deberá hacer clic en la opción *define forecast*, esto generará un cuadro de dialogo en el que es preciso mencionar el nombre de la variable para aplicar el forecast, y las unidades de dicha variable (para esto la celda en cuestión deberá de estar seleccionada)

Ya que se tiene la hoja de cálculo parametrizada y lista para ejecutar la simulación, se hace clic en la opción *runpreferences* en la barra de herramientas. Como resultado se generará un cuadro de dialogo en cual se define los detalles de la simulación en si, como lo es: definir la cantidad de veces que se desea ejecutar la simulación, en esta caso 5000. Así mismo otros por menores como nivel de confianza y demás preferencias. Tal y como se muestra en la ilustración 89 y 90 respectivamente.

Ilustración 90: Nivel de confianza y número de iteraciones

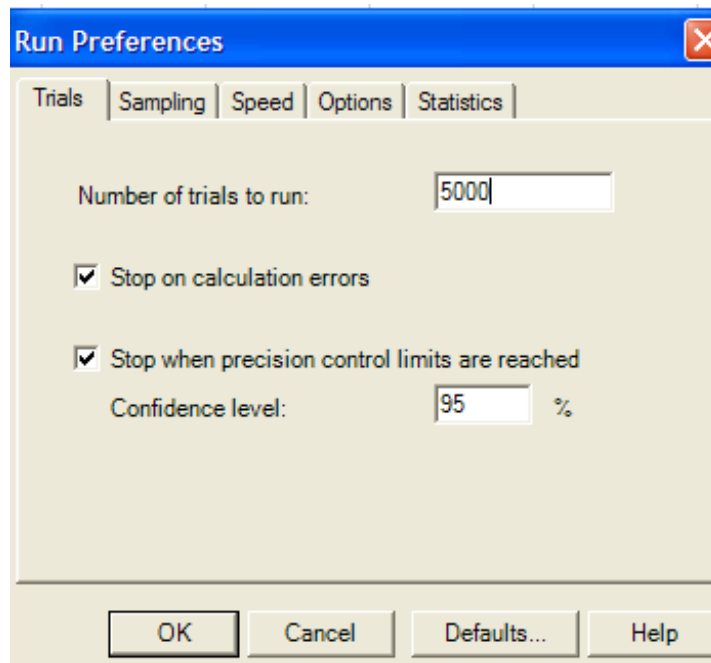
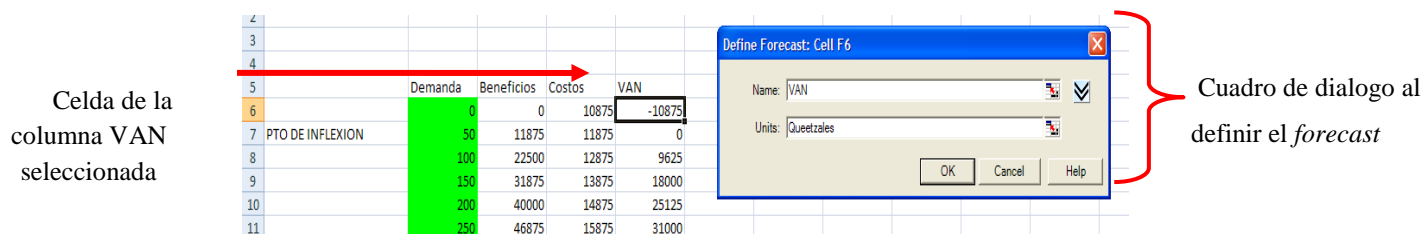


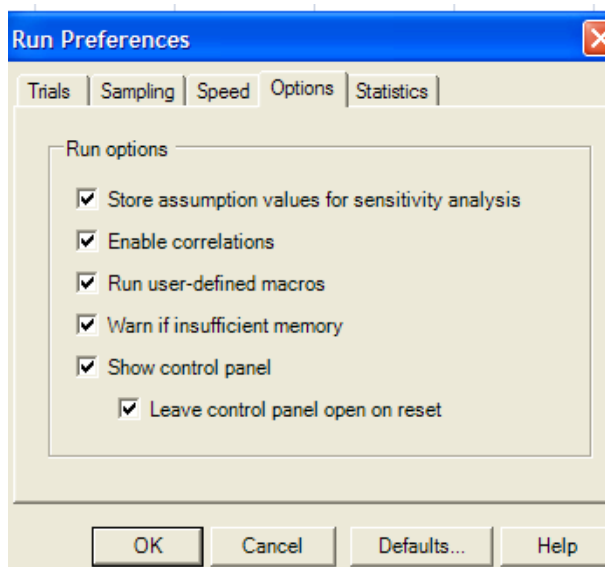
Ilustración 91: Vista al seleccionar la variable sobre la cual se aplicará el forecast



Celda de la columna VAN seleccionada

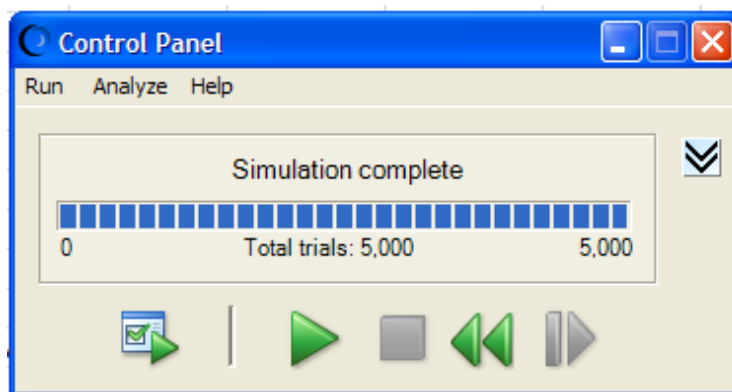
Cuadro de dialogo al definir el forecast

Ilustración 92: Selección de preferencias



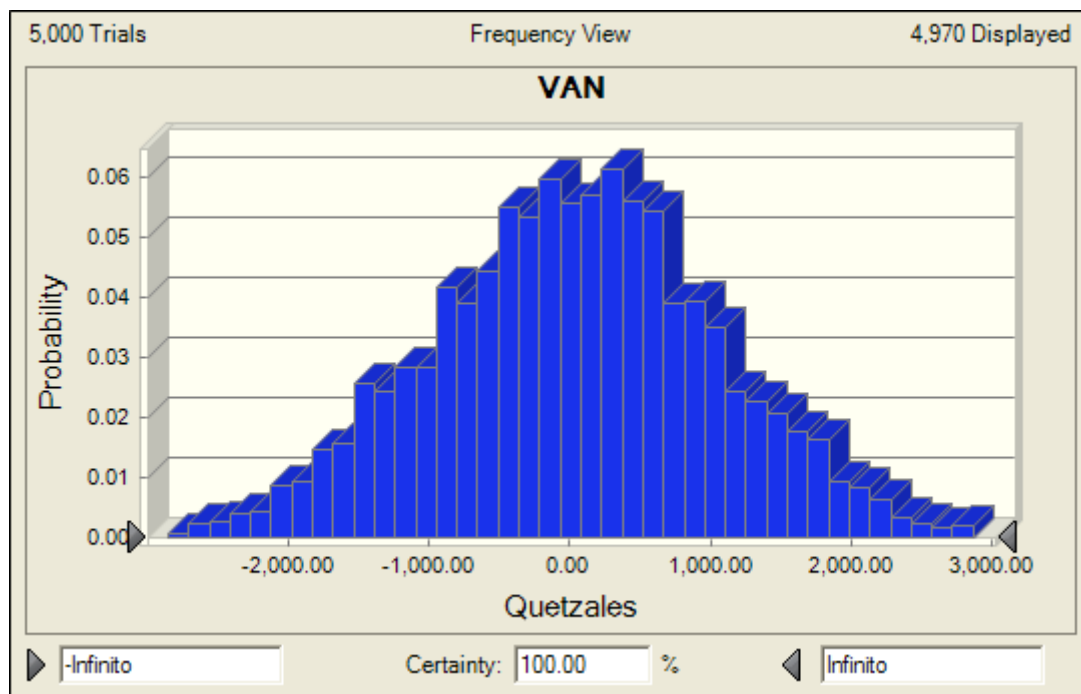
Como siguiente paso, se pulsa la opción de *Start* situada en la barra de herramientas, ejecutándose así las 5000 iteraciones definida previamente. Luego de un tiempo breve de espera *CrystalBall* habrá completado el total de iteraciones y desplegará las estadísticas y los resultados de la simulación.

Ilustración 93: Cuadro de diálogo indicando que la simulación se ha completado



Al finalizar las 5000 iteraciones *CrystalBall* indicará que se ha alcanzado el número máximo de iteraciones. Se pulsa la opción ok del cuadro de diálogo y se desplegará el histograma correspondiente a la simulación.

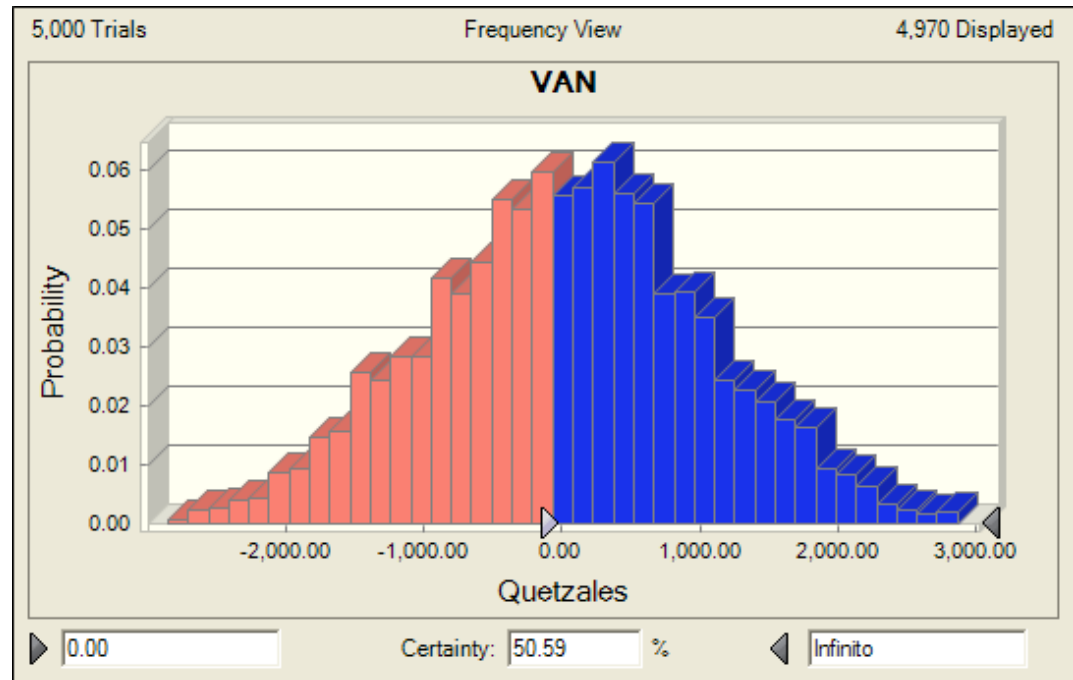
Ilustración 94: El VAN y el comportamiento con su probabilidad asociada de ocurrencia



Tal y como se muestra en la ilustración anterior los resultados de la simulación mediante el método de Montecarlo son contundentes para la toma de decisiones, y es que esta gráfica se convierte en una herramienta de gran valor para la toma de decisiones, ya que en ella se muestran todos los posibles valores del VAN del proyecto y más importante aún, la probabilidad de que estos escenarios ocurran, de modo que ayuda a amortiguar en buena medida la incertidumbre de no conocer el comportamiento del VAN.

Si en la celda que indica infinito se coloca en número cero, el histograma mostrará de color azul los resultados para el cual el VAN es mayor o igual a cero, puesto que como se vio anteriormente el criterio de selección exige un VAN mayor a cero se apreciará con facilidad si la probabilidad de ocurrencia es factible o si por lo contrario es riesgoso continuar la ejecución del proyecto (ver Ilustración 94)

Ilustración 95. Análisis del histograma del VAN (% probabilidad de experimentar un VAN>0)



Si se desea efectuar un análisis más profundo se puede optar por marcar la opción *view charts* en el cual se puede obtener gráficos no solo de la variable definida para el *forecast(VAN)* sino también de las variables definidas como *assumptions* (en este caso la demanda) y del mismo modo analizar su comportamiento. Así mismo se pueden obtener gráficos de sensibilidad de las mismas variables, gráficos de dispersión o de correlación de las variables, tal y como se muestra en la siguiente conjunto de ilustraciones (Ilustración 95, 96 y 97).

Ilustración 96: Gráfica que muestra las tendencias a % de certeza asociados

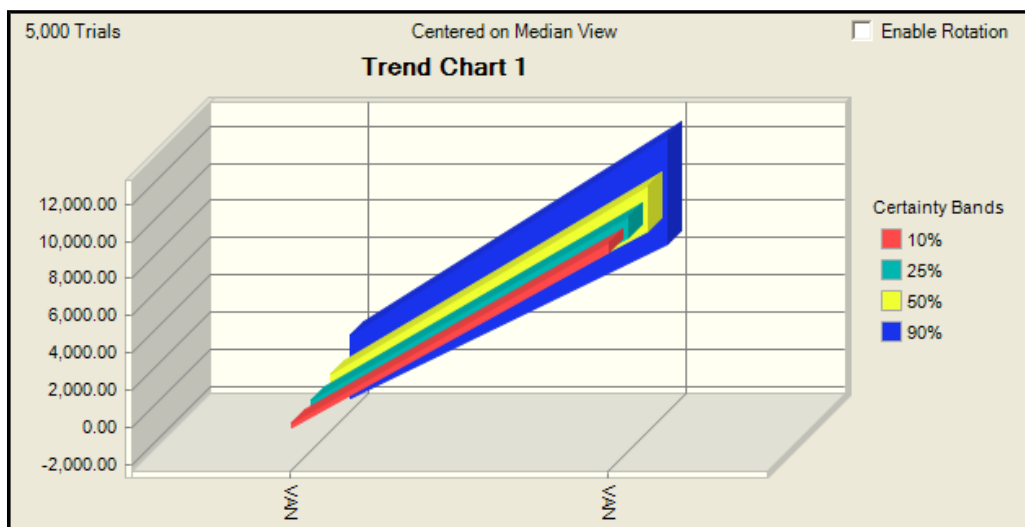


Ilustración 97: Gráfica de superposición para distintos VAN asociados al proyecto el respectivo ajuste de distribución

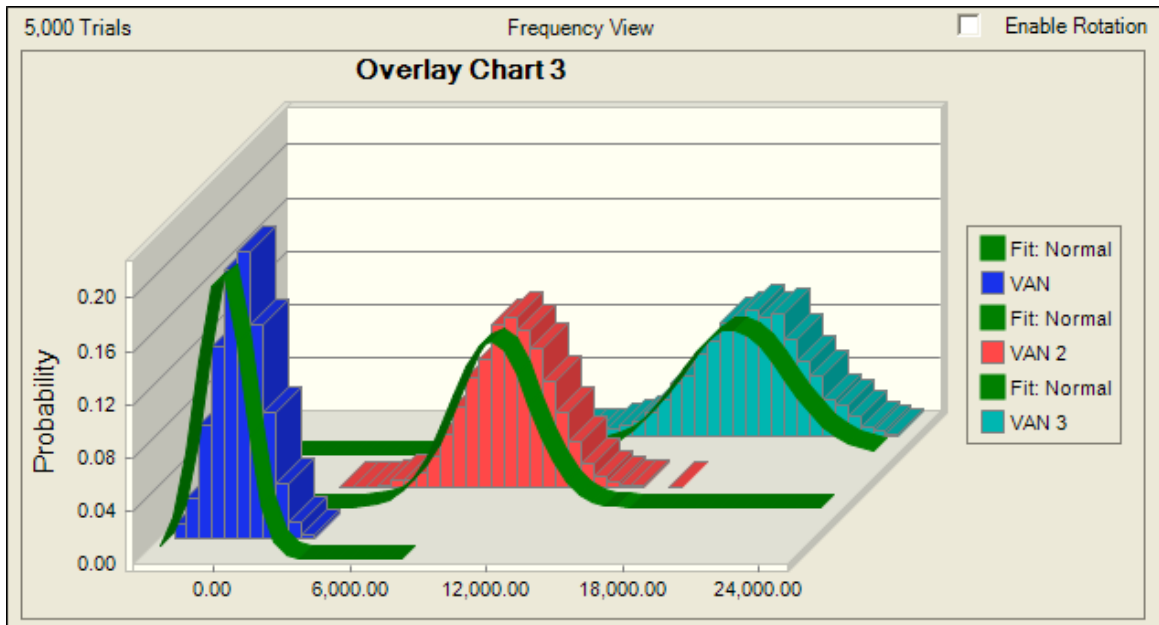
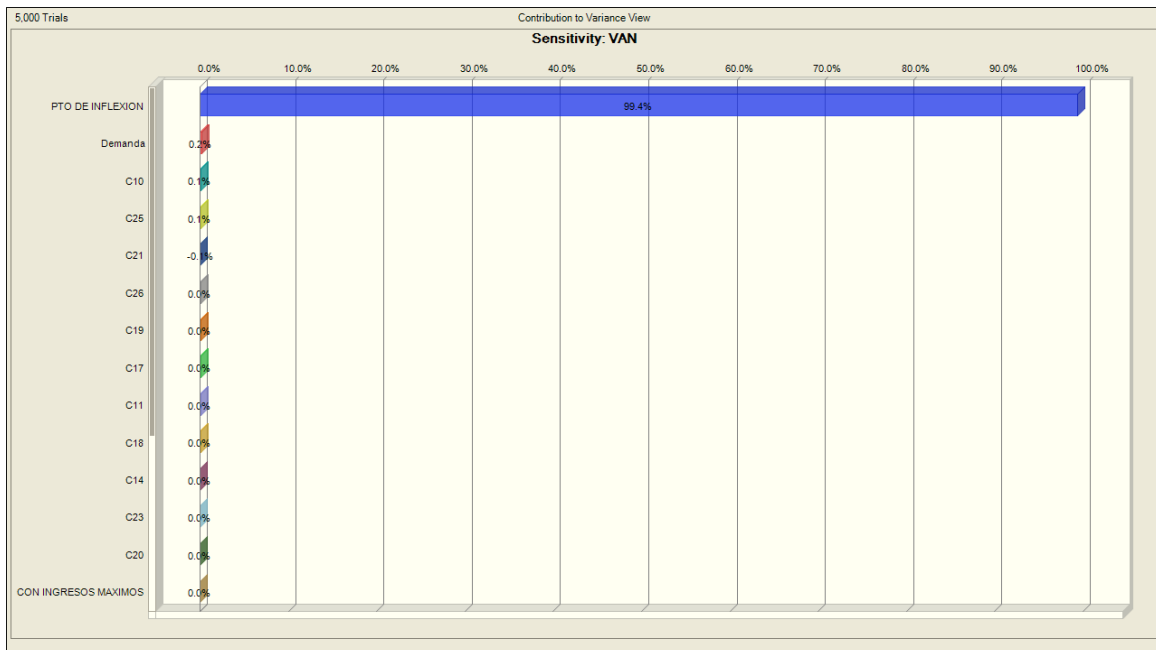
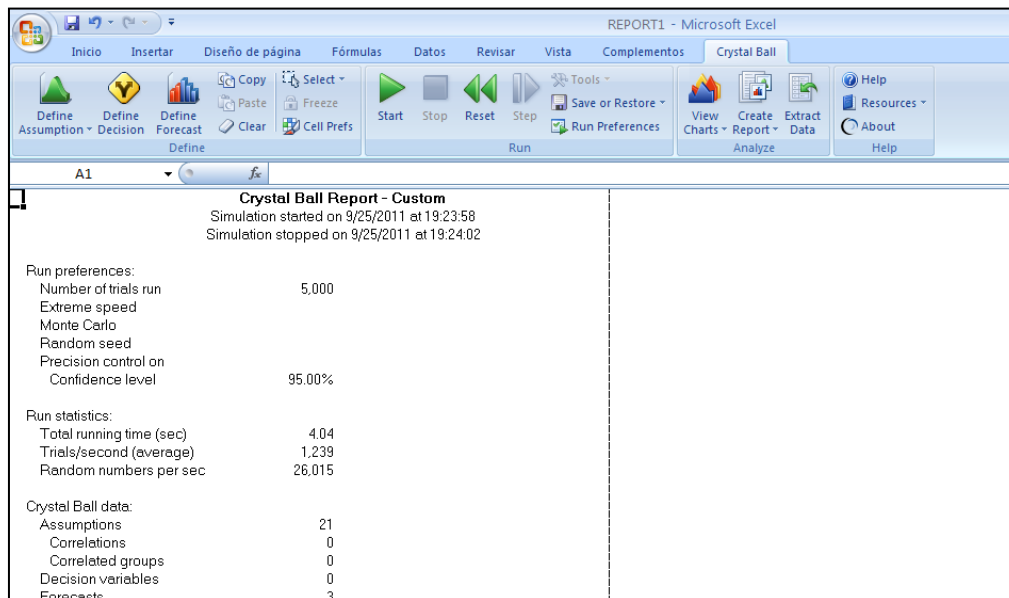


Ilustración 98: Gráfica de sensibilidad para las distintas variables de predicción (para este ejemplo: VAN) y las variables de suposición (para este ejemplo: beneficios, costos y demanda)



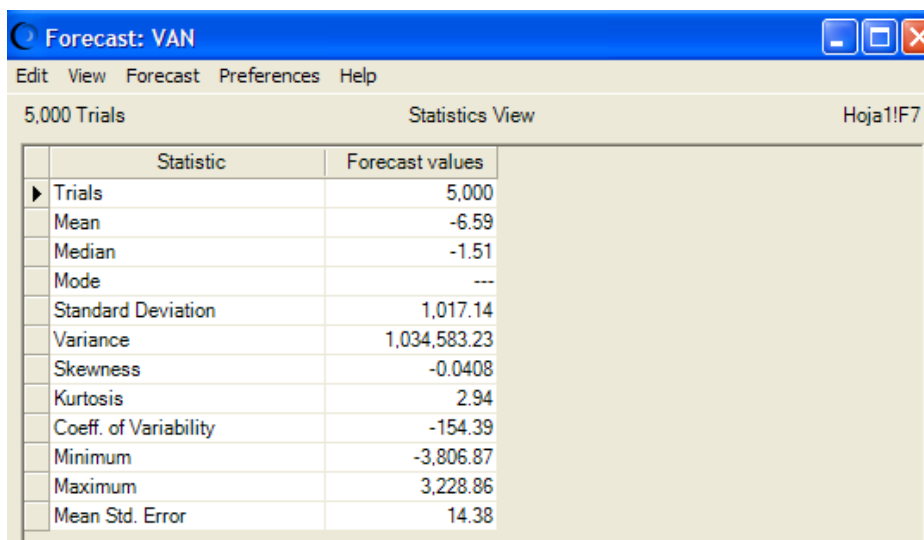
No obstante, los alcances de esta herramienta no se limitan a estos, ya que se pueden crear reportes de toda la simulación, o extraer la información en los cuales se incluyen estadísticas de la simulación efectuada.

Ilustración 99: Demostración del reporte generado por CrystalBall (este se extiende varias páginas más mostrando un completo análisis de toda la simulación)



Crystal Ball Report - Custom	
Simulation started on 9/25/2011 at 19:23:58	
Simulation stopped on 9/25/2011 at 19:24:02	
Run preferences:	
Number of trials run	5,000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95.00%
Run statistics:	
Total running time (sec)	4.04
Trials/second (average)	1,239
Random numbers per sec	26,015
Crystal Ball data:	
Assumptions	21
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	3

Ilustración 100: Estadísticas de la simulación para la variable definida como forecast (VAN)



Statistic	Forecast values
Trials	5,000
Mean	-6.59
Median	-1.51
Mode	---
Standard Deviation	1,017.14
Variance	1,034,583.23
Skewness	-0.0408
Kurtosis	2.94
Coeff. of Variability	-154.39
Minimum	-3,806.87
Maximum	3,228.86
Mean Std. Error	14.38

L. Complementado el modelo propuesto

El modelo propuesto en este documento, pretende desarrollar una metodología consistente para evaluar proyectos de infraestructura vial. No obstante en la realidad, bajo las regularizaciones de un esquema competitivo económico, en el cual existen distorsiones, impuestos, subvenciones, la comparación y cuantificación de costes y beneficios puede ser mucho más compleja que lo que aparenta bajo una aproximación inicial.

En esta sección se pretende introducir de forma general a conceptos que ayudarán a complementar la metodología aquí desarrollada. Para esto resulta necesario hacer mención de los precios sombra y de las tasas de descuento.

1. Precios sombra. Bajo una terminología sencilla los precios sombra o sociales son aquellos precios de mercado a los cuales se les adicionan un factor de corrección, este factor obedece a las distorsiones de mercado, su importancia se sustenta en el fin de precisar el verdadero valor que la comunidad le asigna a un bien determinado.

Los proyectos de inversión en infraestructura vial implican una serie de inputs (vehículos, mano de obra, hombres que conducen) con el fin de obtener una serie de outputs (posibilidad de efectuar transporte entre dos zonas en las que previamente no se podía ejercer, disminución de tiempos de conducción, reducción de costos de utilización de vehículo, disminución de accidentes, etc.) Sin embargo dichos outputs deben de multiplicarse por un precio con el fin de convertirlos en valores monetarios, necesario para calcular la rentabilidad del proyecto. Este precio deberá de reflejar el costo de oportunidad de utilizar los inputsu outputs, que los usuarios están dispuestos a asumir con el fin de hacer uso del proyecto ejecutado. No obstante, cuando el precio de mercado no refleja ese costo de oportunidad asociado, hay que utilizar los denominados precios sombra.

El precio sombra se puede analizar sobre los factores de producción o sobre los impuestos.

Enfocándose en los precios sombra sobre los factores de producción, las correcciones más usuales que se utilizan para corregir los precios de mercado sucede cuando la oferta del input es perfectamente elástica, en general cuando la demanda del factor productivo requerido es marginal y la demanda no es inelástico, el precio de mercado se convierte en una buena aproximación. En cuanto a los precios sombra e impuestos, partiendo de evidencia empírica resulta que una buena práctica puede ser agregarles un factor de corrección comprendido por una distribución uniforme de valor mínimo 1 y máximo de 1.25. Existen dos consideraciones prácticas al utilizar precios sombra (Johansson 1993)

a. La primera advierte de la necesidad de tener en cuenta las consecuencias financieras y sobre la elección de tecnologías alternativas cuando se utilicen precios sombra en proyectos cuyo output está situado en mercados competitivo. En estas circunstancias hay que tener presente que los precios sombra de los inputs no serán los que realmente se paguen y por lo tanto, a menos que el precio del factor reciba subvención habrá que utilizar los precios de mercado de los inputs para el cálculo del precio del output final y la predicción de la demanda.

b. Las dificultades prácticas para el cálculo de los precios sombra y la utilización de modelo con variables aleatorias (como el que se propone en este documento) en lugar de variables deterministas, aconseja seguir la recomendación de que cuando no se tenga con certeza de cuál es el origen de los factores que el proyecto empleará se trata de definir un límite inferior y superior para el precio sombra:

1) La utilización de un límite superior de los costes del proyecto supone el pleno empleo de los recursos en la economía. En este caso, el costo de oportunidad de utilizar los factores es el más alto posible. El precio sombra de los factores productivos es por tanto su precio de mercado incluyendo los impuestos indirectos y cualquier otro impuesto específico.

2) La utilización de un límite inferior supone que los factores productivos que se emplean en el proyecto están desempleados y por tanto ni los trabajadores ni otros inputs se desvían de otras actividades. En el caso de otros inputs se descuentan los impuestos para calcular el coste marginal de producir dichos inputs.

2. Tasas social de descuento. La elección de una tasa social de descuento para evaluar un proyecto vial, incide de manera significativa en los resultados arrojados para la rentabilidad del mismo, la tasa social de descuento no es más que el valor del dinero del tiempo, con la cual se hace posible trasladar los flujos de efectivo de varios años hacia un año base con el fin de estandarizar y homogenizar las entradas (beneficios) y salidas (costos) de efectivo a un año común.

En los proyectos de inversión clásica de infraestructura la lógica que se sigue es sacrificar el consumo presente para obtener beneficios futuros, como desplazamiento de vehículos, facilidad de acceso a zonas de influencia, reducción de costos, etc. en plazos de 30-40 años (que es lo que por lo general se considera como vida útil para un proyecto de dicha naturaleza)

La rentabilidad de un proyecto se verá determinada en buena medida por la tasa social de descuento que teóricamente no es más que el reflejo de la preferencia de la sociedad entre el consumo presente y el futuro. La tasa social de descuento generalmente posee tres componentes:

- a. El tipo de interés del mercado.
- b. La tasa marginal de preferencia temporal.
- c. La tasa marginal de productividad del capital.

IX. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se plantean las conclusiones a continuación:

A. Seguridad en la infraestructura vial

- El *Manual centroamericano de seguridad vial* se enfoca en normativas a crear y cumplir. Las normativas se clasifican en tres capítulos, enfocadas al marco gubernamental, los dispositivos de seguridad vial y la infraestructura y entorno vial.
- El *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales* en su último capítulo, titulado *Elementos Básicos de Diseño para el Mejoramiento de la Seguridad de las Carreteras*, presenta algunos criterios básicos de diseño que se deben tener presentes para contribuir al mejoramiento de la seguridad vial.
- Dentro del *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* el tema de seguridad vial se encuentra presente únicamente al tratar el tema de dispositivos de control del tráfico, siendo estos permanentes o temporales, y en el tema de marcación sobre el pavimento.
- En el *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes* todos los temas de seguridad vial se referencian hacia otros manuales.
- Dentro del *Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos* se encuentra detallado el procedimiento para realizar la revisión mecánica del vehículo.
- El *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito* busca facilitar el movimiento ordenado, seguro y predecible de todos los usuarios de la vía, a través del establecimiento de normas, criterios y recomendaciones. Se incluye dentro de sus anexos varios catálogos con imágenes de las señalizaciones así como algunas de sus medidas básicas.

B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado

- Los manuales SIECA son el producto de un esfuerzo por regular la calidad de las construcciones en el territorio centroamericano. Basadas principalmente en las normas creadas por manuales de Estados Unidos de América, como las normas AASTHO y las ASTM

- El *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras* de SIECA, cuenta con lineamientos de estabilidad de taludes, los cuales son establecidos conservadoramente basados únicamente en el tipo de suelo y la altura total del talud.
- Las *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* de SIECA tiene una sección dedicada específicamente a muros mecánicamente estabilizados. Los lineamientos encontrados en esta sección se enfocan mayormente determinar los materiales utilizados para el relleno reforzado y los distintos tipos de fachadas existentes.
- En el tema de muros mecánicamente estabilizados, el tipo de refuerzo a tensión especificado por los manuales SIECA son las barras metálicas. Actualmente se utilizan refuerzos a tensión de mallas fabricadas de materiales a base de polímeros.
- Existen varios métodos para analizar la estabilidad de los taludes, cada análisis tiene sus ventajas y limitaciones. Se deben utilizar adecuadamente según características geológicas del talud.
- Las fallas en los taludes ocurren debido a la presencia de agua, topografía, tipo de suelo o roca, y/o fracturas o fallas presentes en los estratos de roca o suelo localizado en el terreno.
- Deben existir un manual que establezca parámetros de construcción y diseño de muros mecánicamente estabilizados, los cuales deben incluir las especificaciones para análisis de estabilidad externa e interna del muro. que determine la resistencia a tensión del refuerzo y los espaciamientos verticales entre niveles de refuerzo.

C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos

- El *Manual de normas ambientales* reconoce la interacción inevitable de corrientes de agua superficial y subterránea tras el paso de una carretera, por lo que advierte de identificar zonas inundables y proveer drenajes adecuados en todas las etapas del ciclo de vida de una carretera, sin profundizar en estos aspectos.
- El *Manual de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* provee de manera clara la descripción de los trabajos de drenajes, materiales, los requerimientos para construcción, procedimientos para la determinación de su calidad y aceptación, sin embargo no considera la realización de estudios hidrológicos como parte del diseño hidráulico de las carreteras.
- Por el momento se consideran como elementos básicos para el diseño geométrico a los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación; sin descartar los aspectos hidrológicos e hidráulicos, aun no son considerados como un criterio determinante para el establecimiento del diseño.
- El principal aporte del manual para diseño de pavimentos es el reconocimiento del concepto de calidad de drenaje como elemento determinante en el diseño de carreteras al incluirse como variable en el número estructural.

- Se identifican como fuentes de referencia de mayor utilización para el diseño de carreteras en Centroamérica a la AASHTO Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte, FHWA Administración Federal de Carreteras, ASTM Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- Se observó que no se consideran los aspectos hidrológicos e hidráulicos en el diseño de carreteras con la debida profundidad, y la necesidad de incluirlos como fuente para el diseño regional en la construcción de carreteras.
- La incompatibilidad del diseño con las condiciones hidrológicas es el principal tema de incremento de costos por mantenimiento debido a daños repetitivos por lluvias para periodos de retorno no considerados en el diseño.
- Los manuales no contemplan la estimación del caudal de diseño para la determinación de las dimensiones de los elementos de drenaje.

D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías

- Los manuales analizados en la presente investigación contienen temas ambientales que pueden modificarse para que el contenido sea más preciso.
- Se puede incluir en forma de anexo del *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras* las recomendaciones de la **Sección C del Capítulo VII** especificando que las mismas consideran el contexto y leyes guatemaltecas.
- Los temas ambientales que se analizaron fueron sobre control de materiales; estudios de impacto ambiental; gestión ambiental; y consideraciones ambientales durante el diseño, construcción y mantenimiento de una carretera.
- La implementación de tecnologías ambientalmente sostenibles a los manuales de SIECA resulta para Guatemala una solución aplicable ya que la normativa legal vigente permite la modificación de sus asfaltos.
- El desarrollo de un manual en donde se incluyan tecnologías ambientalmente sostenibles resultaría útil ya que propiciaría la utilización de las mismas.

E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.

- Un modelo de evaluación económica para proyectos de carretera deberá facilitar y clarificar el proceso de toma de decisiones. Esto solo se logra si se tiene una metodología definida, la cual deberá considerar en su análisis los elementos de costos y beneficios, predicciones de la demanda y rentabilidad. Así mismo, deberá contabilizar desde el inicio de la ejecución del análisis, y no como elemento independiente, el concepto de riesgo e incertidumbre.
- Un enfoque apropiado de riesgo permitirá reducirlo y tomar decisiones mejor fundamentadas basadas en el supuesto de que la correcta aplicación de este permite ver posibles escenarios futuros que el proyecto pueda experimentar, así como la probabilidad de ocurrencia asociada a cada uno de estos
- La importancia de ejecutar una correcta evaluación económica para proyectos de carreteras se fundamenta en dos aspectos: este tipo de proyectos se convierten en herramientas claves de desarrollo y generalmente al evaluar cualquier proyecto existe un sesgo a favor de proyecto.
- La ejecución de carreteras se convierte en sinónimos de desarrollo económico, ya que implementación de las mismas conlleva una serie de beneficios asociados, que conducen a la mejora las condiciones de vida de un conjunto social. Cuando se ejecuta proyecto de esta naturaleza los beneficios son numerosos iniciándose un ciclo económico virtuoso que acarrea desarrollo. La mejora de accesibilidad, que por lo general es el primer beneficio obtenido de un proyecto vial, conlleva al aumento en la comercialización, del mismo modo se hace posible el acceso a la tecnología a su vez permite aumentar la productividad de las personas generando así un nuevo mercado económico en donde antes no lo había.
- Un buen modelo de evaluación económica de proyectos de infraestructura vial no debe de ser un modelo rígido en el cual sus variables se contabilicen de modo determinista como cifras únicas, este debe de ser construido de tal forma que las distintas expresiones que conformen el modelo actúen como variables sensibles a cualquier alteración de al menos uno de sus parámetros, una buena herramienta para hacer esto posible es la utilización en el modelo de un enfoque innovador hasta ahora poco mencionado en las referencias bibliográficas: la técnica de simulación por el método de Montecarlo
- Los modelos de evaluación no están exentos a inconsistencias, es por ello que aspectos como los precios sombra ó precios sociales no pueden hacerse a un lado. La importancia de la contabilización de los precios sombra se fundamenta en el hecho que en muchas ocasiones los precios de mercado no reflejan con precisión los precios sociales del proyecto de modo que es necesario introducir un ajuste a estos a través de un multiplicador cuantitativo.
- En los últimos años, la importancia de este tipo de proyectos se ha sensibilizado, es por ello que las naciones han trabajado en conjunto unificando esfuerzos y criterios para consolidar los mecanismos referentes a este tipo de proyectos, esto con el fin de homogenizar el enfoque que se adoptara en estos. Tal es el caso de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, la cual se ha dado a la tarea de consolidar una serie de manuales que permitan la estandarización en cuanto al mantenimiento, riesgo, seguridad, requisitos básicos, esquemas de asociación, entre otros, necesarios a considerar para todas las carreteras del Istmo.

X. RECOMENDACIONES

A. Seguridad en la infraestructura vial

- Se recomienda la realización de una *Normativa Vial*, que incluya propuestas de normativas enfocadas al marco gubernamental, así como a los tres factores que componen el tránsito, los cuales son el usuario, el vehículo y la infraestructura.
- Se recomienda la creación de un *Manual centroamericano para la realización de auditorías viales*, donde se incluyan conceptos específicos, características, etapas y metodología de una auditoría vial, así como un listado de chequeo e inclusive un ejemplo real de una auditoría vial a un tramo carretero de la Red Vial Centroamericana.
- Se recomienda la creación de un *Manual centroamericano de sistemas de información de seguridad Vial*, donde se incluyan procedimientos específicos para el diseño e implementación de un sistema de información completo y unificado, así como la forma correcta de utilizar los datos provenientes de este sistema para mejorar la seguridad vial de un tramo carretero.
- Realizar una evaluación completa sobre los sistemas de información que se poseen en la actualidad, con el objetivo de servir de base para una futura implementación de un nuevo y unificado sistema de información. La evaluación se divide en cuatro partes, que son: evaluación de los involucrados; evaluación de las fuentes de datos, los sistemas utilizados y la calidad de la información; evaluación de las necesidades de los usuarios finales de los datos; y un análisis del entorno político.

B. Estabilidad de taludes por medio de suelo mecánicamente estabilizado

- Se recomienda estudiar otros sistemas constructivos para la contención de taludes utilizados en Guatemala y crear una normativa aplicable a las condiciones del país.
- Este documento se enfoca mayormente al diseño de muros mecánicamente estabilizados, por lo tanto se recomienda documentar detalladamente los pasos necesarios a seguir durante la construcción del mismo.
- Se recomienda buscar un mayor contacto con las empresas que se especializan en el diseño y construcción de estructuras de geotecnia, para conocer su punto de vista de esta investigación y solicitar apoyo para la creación de normas específicas de esta área de la ingeniería civil.
- Se recomienda evaluar construcciones del sistema de muros mecánicamente estabilizados que se encuentran en Guatemala. Los diseños se realizan en base a normas extranjeras, por lo tanto es importante evaluar el desempeño de las obras en condiciones que se dan únicamente en el país. Algunos

aspectos importantes a considerar son cambios climáticos, presencia de químicos en el suelo o fuerzas dinámicas ocasionadas por sismos.

C. Análisis de aspectos hidrológicos e hidráulicos

- Una medida para el fortalecimiento de las redes de drenajes en carreteras es la implementación de un diseño adecuado basado en los estudios hidrológicos y de sitio.
- Reconociendo la vulnerabilidad en cuanto a inundación a la que puede estar sometida una carretera se deberán considerar iniciativas fuertes de protección. Por lo que se recomienda la elaboración de un manual regional de diseño de estructuras para protección contra inundaciones.
- Como una extensión al presente trabajo queda pendiente el desarrollo del tema de subdrenajes en carreteras debido a la importancia para la prevención de grietas y formación de baches.

D. Ambiental con énfasis en nuevas tecnologías

- Los manuales de construcción de carreteras de SIECA en cuanto al tema ambiental presentan una guía que puede fácilmente seguirse en la construcción de carreteras.
- Los manuales analizados en el presente estudio pueden complementarse y tomar en cuenta las modificaciones indicadas en la sección de Observaciones sobre los manuales de construcción de SIECA
- El *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras* podría complementarse con un capítulo en donde se menciona todo los aspectos ambientales de los demás manuales, lo cual se abarca en el presente estudio en los capítulos IV al VII.
- Es importante considerar las nuevas tecnologías de construcción ambientalmente sostenibles que se están desarrollando a nivel mundial ya que estas pueden proponer soluciones económica y ambientalmente viables, y por lo tanto pueden incorporarse a los manuales de SIECA.
- Si los manuales de construcción en Guatemala incluyen tecnologías que reducen costos y además son ambientalmente sostenibles, se lograría un mayor impacto positivo.
- La reutilización de neumáticos de hule para pavimentos asfálticos resulta una solución económica y ambientalmente viable para proyectos de construcción de carretera con una vida útil relativamente larga.
- Al agregar polímeros de neumáticos de hule a las mezclas de asfalto se mejoran las propiedades mecánicas que permiten un mejor funcionamiento de la estructura vial y una reducción en costos de mantenimiento.
- La normativa nacional vigente no presenta ninguna limitación en cuanto al uso de neumáticos de hule como modificadores en mezclas asfálticas.

- En Guatemala la utilización de neumáticos de hule en mezclas asfálticas implica un impacto positivo en el ambiente y en la salud, y además mejora las propiedades de la carpeta reduciendo costos en el largo plazo.
- Los neumáticos de hule no son frecuentemente utilizados en mezclas para concretos hidráulicos ya que no mejoran significativamente sus propiedades.
- La utilización del RAP resulta económicamente viable ya que reduce costos de materiales.
- Si el RAP es trabajado en sitio se reducen costos de transporte en comparación a si el RAP es trabajado en una planta.
- En la utilización del RAP se tiene un impacto positivo en el ambiente ya que propone la reutilización de la carpeta asfáltica luego de que la misma ha presentado fallas que requieren un recapeo.
- La normativa nacional vigente permite no hace alguna referencia a limitaciones sobre el uso de RAP por lo que es una tecnología que puede fácilmente aplicarse en Guatemala.

E. Definición de los procedimientos necesarios para el desarrollo de una efectiva formulación y evaluación económica de proyectos de construcción de carreteras mediante una metodología estructurada en un análisis de costo, financiero, de riesgo y la utilización de la técnica de simulación de Montecarlo.

- La metodología que se presenta en este trabajo de investigación es una metodología flexible que busca modelar variables de manera que estas no representen valores deterministas ni mucho menos estáticos, cosa que sería lejana a la realidad. Para ello ha introducido conceptos como simulación de Montecarlo y la gestión de riesgo como elemento integral de todo el proceso de evaluación, y no visto de forma independiente como tradicionalmente se ha hecho. Sin embargo, la recomendación fundamental para este trabajo de investigación consiste en llevar a la práctica la metodología diseñada y expuesta en este documento. Un caso práctico sería un elemento indispensable por desarrollar como propuesta de esta investigación para mostrar nuevos avances y nuevos aspectos por redefinir en la metodología aquí desarrollada.
- Por cuestiones de forma en este documento únicamente se hace énfasis en el modelo propuesto y la forma de realizar los cálculos de conceptos como Valor Presente Neto para evaluar rentabilidad, Análisis de riesgo para evaluar la incertidumbre, Cálculos de demanda para determinar proyecciones del proyecto, Análisis costo-beneficio para determinar las entradas y salidas de flujo de efectivo a lo largo del periodo de vida útil del proyecto, técnica de Montecarlo para realizar simulación de escenarios futuros y la probabilidad de ocurrencia asociada. Sin embargo, se hace la salvedad que esta metodología no se encuentra exenta a ciertas inconsistencias, es por ello que se dedica un breve apartado a

mencionar algunas de estas como los precios sombra. No obstante, la descripción que se brinda acerca de estos ajustes que debe de aplicarse al momento de modelar el proyecto no es profusa, por lo que es necesario ahondar aún más en la terminología y naturaleza de estos conceptos.

- En este documento se hace las distinciones requeridas al momento de contabilizar los flujos de efectivo de costos y beneficios dependiendo de su origen de financiamiento, y es que los costos y beneficios experimentan cambios sustanciales al momento de contabilizarse cuando su fuente de inversión es pública (social- estado) o privada. Sin embargo, hay otros esquemas de financiación como lo son los esquemas de asociación público privado. En esta investigación se refiere a ellos como esquemas poco practicados en el país dadas las condiciones que estos requiere, no obstante, sería interesante añadir de forma paralela a la metodología ya existente, la forma en que han de llevarse a cabo este tipo de asociaciones, y las diferencias sustanciales al contrastárseles con las aquí desarrolladas.
- Un complemento adicional a esta metodología consistiría en ahondar en las instituciones financieras que se involucran en los préstamos para efectuar proyectos de infraestructura vial, así como en los requerimientos que estas instituciones exigen, y las diferencias que se dan en consecuencia al momento de exigir dichos requisitos.

XI.BIBLIOGRAFÍA

- Asian Development Bank. 2003. *Road Safety Audit for Road Projects*. Filipinas. 47 págs.
- Backer, Morton y L. Jacobsen. 1983. *Contabilidad de costos*. México, Mc-Graw Hill. 743 págs.
- Barros, José. 2005. *Monografías de la construcción: muros de contención*. España, Ediciones Ceac. 208 págs.
- Bernhard, Andrés. 2009. *Utilización de hule reciclado de neumáticos en pavimentos*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 80 págs.
- Bervis, Elmer. 2004. *Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales. Nicaragua, Programa de apoyo al sector de transporte PAST-DANIDA*. Nicaragua. 83 págs.
- Bolivia, 2007. APIA XXI Ingenieros y Arquitectos Consultores. *Manual de hidrología y drenajes*. Bolivia, Gobierno de Bolivia. 313 págs.
- Bolivia. s.f. APIA XXI Ingenieros y Arquitectos Consultores. *Manual de dispositivos de control de tránsito*. Bolivia, Administradora Boliviana de Carreteras. 587 págs.
- Braja, M. Das. 1999. *Principio de ingeniería de cimentaciones*. 4ª ed. California, International Thomson Editors. 862 págs.
- Cashin, James A. y R. Polimeni. 1980. *Teoría y problemas de contabilidad de costos*. 2ª ed. México, Mc-Graw Hill. 226 págs.
- Cashin, James A. y R. Polimeni. 1983. *Fundamentos y técnicas de contabilidad de costos*. 3ª ed. México, Mc-Graw Hill. 894 págs.
- Cedergren, Harry R. 1974. *Drainage of Highway and Airfield Pavements*, Nueva York, John Wiley & Sons Inc. 285 págs.

- Chain, NassirSapag. 2007. *Proyectos de inversión formulación y evaluación*. México D.F., Prentice Hall.486 págs.
- Chow, Ven Te; D. Maidment y L. Mays. 1994. *Hidrología aplicada*. Santafé Bogotá, McGraw-Hill Interamericana. 584 págs.
- Colucci, Benjamín; J. C. Rivera. 2005. *Auditorías de seguridad en las carreteras y su aplicación al sistema de red de carreteras del Caribe y América Latina*. Colombia, LACCEI.15 págs.
- Corporación Tensar. 2011. Recuperado el 3 de abril de 2011, de: <http://www.tensarcorp.com>
- Cruz Mendoza, Gerardo y J. Méndez.2008. *Evaluación económica de proyectos de transporte*. Washington D.C., BancoInteramericano de Desarrollo.171 págs.
- Data systems: A road safety manual for decision-makers and practitioners*. 2010. WorldHealth Organization. Francia.146 págs.
- DíazMosto, Jorge. 1979. *Contabilidad de costos*. 3ª ed. Lima, Editorial Universo.258 págs.
- EstadosUnidos. 2001. U.S. Department of Transportation. *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforces Soil Slopes Design & Construction Guidelines*. Federal Highway Administration. 394 págs
- EstadosUnidos. 2004. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.EstadosUnidos de América. 872 págs.
- EstadosUnidos. 2006. U.S. Department of Transportation. *Road Safety Audit Guidelines.Federal Highway Administration*.Federal Highway Administration.76 págs.
- EstadosUnidos. 2008. U.S. Department of Transportation.*User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction, Reclaimed Asphalt Pavement*.Federal HighwayAdministration. 8 págs.

- Fonseca, Alfonso. 2006. *Ingeniería de pavimentos(Tomo 1)*. 3ª ed. Colombia, Universidad Católica de Colombia. 348 págs.
- Gavalines, Hernán. 2003. *Curso de explotación de canteras: parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes*. Ecuador. 87 págs.
- Gonzalo, Andrés. 2008. *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria*. Tesis Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile. 393 págs.
- Guatemala. 1998. Ley Forestal. *Decreto No. 101-96 del Congreso de la República de Guatemala*. 117 artículos. (Artículos 46 – 61)
- Guatemala. 2001. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Ingenieros Consultores de Centro América, S.A. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. 22 págs.
- Hanke, Joseph y A. Reistch. 1996. *Pronósticos en los negocios*. 5ª ed. México D.F., Pearson educación. 234. Págs.
- Hillier, Frederick y G. Lieberman. 2006. *Introducción a la investigación de operaciones*. 8ª ed. México D.F., Mc-Graw Hill. 848 págs.
- Johansson, Olev. 1993. *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*. Estados Unidos, Cambridge University Press. 233 págs.
- Keller, Gordon; Sherar, James. 2002. *Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales*. México, 258 págs.
- Maccaferri. 2002-2007. Recuperado el 25 de mayo de 2011, de: <http://www.maccaferri.com.br>
- Monsalve, Germán. 1995. *Hidrología en la ingeniería*. Santafé de Bogotá. 359 págs.

- Montgomery, Douglas y G. Runger. 2004. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. 2ª edición. México D.F., LimusaWiley. 817 págs.
- Nicaragua. 2008. Ministerios de Transporte e Infraestructura, División General de Planificación. *Manual para la elaboración de estudio de pre-factibilidad y factibilidad*. 152 págs.
- Perú. 2009. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Perú, Gobierno de Perú. 209 págs.
- Reino Unido. 2005. UK Department for International Development, DFID. *Overseas Road Note 5: a guide to road project appraisal*. 145 págs.
- Sánchez, Ángel. 2011. *Asfaltos modificados: conceptualización, aplicación control y pruebas*. Recuperado el 2011: <http://library.thinkquest.org/11577/>
- Schall, James; E. Richardso y J. Morris. 2001. *Introduction to Highway Hydraulics*. Hydraulic Design Series Number 4.3ª ed. Federal Highway Administration. Estados Unidos. 204 págs.
- SIECA. 2000. *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. 1ª ed. Guatemala. 415 págs.
- SIECA. 2002. *Manual centroamericano de normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras*. 1ª ed. Guatemala. 99 págs.
- _____; 2002a. *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. 1ª ed. Guatemala. 289 págs.
- SIECA. 2004. *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales*. 2ª ed. Guatemala. 809 págs.

_____; 2004a. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. 2ª ed. Guatemala. 322 págs.

SIECA. 2006. *Estudio para el fortalecimiento del marco legal regulatorio e institucional para concesiones viales en los países del plan Puebla-Panamá. Documento 1: Financiamiento de obras viales bajo esquemas de asociación público-privada*. México-Centroamérica. 73 págs.

_____; 2006a. *Estudio para el fortalecimiento del marco legal regulatorio e institucional para concesiones viales en los países del plan Puebla-Panamá. Documento 3: Identificación y Análisis de Riesgos Legales, Económicos, Ambientales y Territoriales en Concesiones Viales* 2ª ed. México-Centroamérica. 86 págs.

SIECA. 2009. *Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos*. 1ª ed. Guatemala. 100 págs.

_____; 2009a. *Manual centroamericano de seguridad vial*. 1ª ed. Guatemala. 100 págs.

SIECA. 2010. *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes*. 1ª ed. Guatemala. 99 págs.

_____; 2010a. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Centroamérica. Sin edición. 344 págs.

Speier, Gregory. 2006. *Auditorías de seguridad vial como una herramienta del Siglo 21 para modernizar la infraestructura de seguridad vial*. Argentina, SPEIER Road Safety Solutions. 13 págs.

Taha, Hamdy. 2004 *Investigación de operaciones*. 7ª ed. México D.F., Pearson Prentice Hall. 848 págs.

Tarquín, Anthony y L. Blank. 2002. *Ingeniería económica*, 6ª ed. México D.F., Mc- Graw Hill. 816 págs.

The Pan American Health Organization (PAHO). 1997. *Estudio de caso: vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos*. Perú. 103 págs.

Vásquez, Idalit. 2010. *Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos*. Tesis Universidad Veracruzana. México. 73 págs.

WorldHealthOrganization. 2010. *Data systems: A road safety manual for decision-makers and practitioners*. Francia. 146 págs.

Xiao, Feipeng, *et al.* 2007. «Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures». *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*. 19 (6): 475-483.

XII. ANEXOS

A. Anexo 1: Datos de hechos viales en Guatemala

Instituto Nacional de Estadística

**Accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala,
por año, según departamento, período 2001 - 2011 (primer trimestre)**

Departamento	Año											Primer trimestre 2011
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Total	4,252	2,730	2,226	1,811	2,008	2,781	3,510	3,169	3,528	3,187	1,123	
Guatemala	720	179	201	107	150	610	885	861	987	866	316	
El Progreso	80	90	148	85	85	102	98	80	101	77	24	
Sacatepéquez	45	100	54	83	90	65	112	67	88	70	31	
Chimaltenango	232	93	132	115	139	112	136	121	127	89	38	
Escuintla	256	241	166	97	138	247	364	312	240	267	124	
Santa Rosa	183	111	105	84	85	75	87	79	100	124	46	
Sololá	54	103	79	18	35	53	86	52	62	51	11	
Totonicapán	73	83	65	42	39	51	60	42	49	22	15	
Quezaltenango	275	176	143	141	143	148	165	169	224	192	69	
Suchitepéquez	309	204	161	132	108	170	221	200	216	134	59	
Retalhuleu	150	115	85	84	84	83	100	95	116	91	13	
San Marcos	223	169	196	169	127	130	156	127	140	114	36	
Huehuetenango	293	172	127	92	134	122	117	117	117	107	25	
Quiché	175	143	120	109	72	99	106	92	135	92	37	
Baja Verapaz	67	58	57	56	42	55	73	57	50	59	15	
Alta Verapaz	184	149	151	125	124	95	90	99	134	148	30	
Petén	225	114	31	10	69	157	106	134	126	210	59	
Izabal	216	138	30	26	90	73	122	84	129	115	26	
Zacapa	170	48	52	70	43	96	140	131	138	102	38	
Chiquimula	100	71	45	87	67	88	112	85	89	102	28	
Jalapa	74	48	30	16	52	57	56	65	57	58	44	
Jutiapa	148	125	48	63	92	93	118	100	103	97	38	
Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

**Accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala,
por sexo del conductor, según grupo de edad,
período primer trimestre 2011**

Grupo de edad	Sexo			
	Total	Hombre	Mujer	Ignorado
Total	1,123	923	58	142
Menos de 15	8	8	-	-
15-19	73	67	6	-
20-24	169	162	7	-
25-29	162	150	11	1
30-34	173	163	10	-
35-39	111	104	7	-
40-44	85	81	4	-
45-49	65	58	7	-
50-54	52	49	3	-
55 y más	60	59	1	-
Ignorado	165	22	2	141

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

**Fallecidos (as) en accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala,
por año, según departamento, período 2001 - 2010.**

Departamento	Año										Primer trimestre 2011
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Total	936	692	581	581	624	736	936	809	886	737	160
Guatemala	87	21	25	7	18	97	173	192	139	135	23
El Progreso	40	20	46	34	13	24	29	17	41	47	1
Sacatepéquez	7	26	6	11	10	3	21	6	26	13	3
Chimaltenango	37	22	23	25	39	34	29	31	36	23	5
Escuintla	71	73	71	33	50	123	134	130	100	95	19
Santa Rosa	63	39	35	33	51	17	23	31	32	32	6
Sololá	13	24	15	7	9	10	11	5	21	7	-
Totonicapán	12	19	18	3	13	17	13	9	13	7	5
Quezaltenango	72	32	34	66	41	24	52	43	58	45	4
Suchitepéquez	49	43	49	45	33	36	41	41	40	20	3
Retalhuleu	29	21	17	23	29	22	40	10	24	8	3
San Marcos	69	43	51	37	50	32	44	30	31	22	20
Huehuetenango	79	74	54	48	63	77	53	31	30	38	8
Quiché	33	25	23	45	21	30	24	17	31	23	14
Baja Verapaz	13	10	22	13	10	13	14	13	15	19	2
Alta Verapaz	27	44	30	34	38	11	17	17	20	22	-
Petén	60	32	10	5	23	35	22	39	40	51	7
Izabal	40	37	7	17	23	35	54	37	54	38	5
Zacapa	45	13	15	24	8	24	41	43	55	26	10
Chiquimula	22	26	14	32	32	29	28	21	24	32	7
Jalapa	15	12	6	5	7	12	17	14	9	11	7
Jutiapa	53	36	10	34	43	31	56	32	47	23	8

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

Fallecidos (as) en accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala, por sexo del conductor, según grupo de edad, período primer trimestre 2011

Grupo de edad	Sexo		
	Total	Hombre	Mujer
Total	159	124	35
Menos de 15	15	9	6
15-19	9	7	2
20-24	23	19	4
25-29	26	21	5
30-34	22	16	6
35-39	15	12	3
40-44	15	13	2
45-49	7	6	1
50-54	8	6	2
55 y más	19	15	4
Ignorado	-	-	-

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

**Lesionados (as) en accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala,
por año, según departamento, período 2001 - 2010**

Departamento	Año										Primer trimestre 2011
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Total	5,436	4,336	3,234	2,586	3,242	5,822	6,728	5,900	6,784	5,807	1,321
Guatemala	812	183	196	114	184	1,245	1,287	1,318	1,561	1,329	311
El Progreso	131	141	215	144	168	256	164	177	289	152	28
Sacatepéquez	70	148	77	107	107	171	239	111	202	154	61
Chimaltenango	320	313	229	217	270	214	312	221	278	183	56
Escuintla	300	322	287	137	176	517	593	534	360	445	96
Santa Rosa	210	225	208	120	138	120	208	122	234	233	31
Sololá	72	180	113	15	64	90	159	188	177	99	22
Totonicapán	111	114	88	65	55	110	124	144	157	63	20
Quetzaltenango	323	263	190	192	195	328	302	292	381	365	54
Suchitepéquez	323	258	202	211	176	333	348	380	430	189	46
Retalhuleu	200	151	100	80	164	174	185	159	185	161	27
San Marcos	344	282	299	254	216	322	524	304	369	274	89
Huehuetenango	373	373	241	140	233	284	307	216	244	289	60
Quiché	219	274	213	195	147	279	332	267	383	235	90
Baja Verapaz	163	94	73	89	130	131	154	134	88	124	14
Alta Verapaz	180	186	175	143	145	198	265	229	311	372	64
Petén	292	197	55	19	152	286	224	316	216	422	51
Izabal	226	141	30	27	142	116	160	110	194	182	27
Zacapa	240	88	81	102	54	154	189	238	238	144	42
Chiquimula	186	140	57	111	102	203	201	200	160	177	35
Jalapa	92	47	45	11	106	117	172	96	111	79	65
Jutiapa	249	216	60	93	118	174	279	144	216	136	32

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

Lesionados (as) accidentes de tránsito ocurridos en la república de Guatemala, por sexo del conductor, según grupo de edad, período primer trimestre 2011

Grupo de edad	Sexo		
	Total	Hombre	Mujer
Total	1,302	862	440
Menos de 15	146	81	65
15-19	180	122	58
20-24	215	163	52
25-29	147	94	53
30-34	167	117	50
35-39	112	65	47
40-44	100	68	32
45-49	77	44	33
50-54	51	34	17
55 y más	107	74	33
Ignorado	-	-	-

Fuente: Elaboración de la Unidad de Estadísticas Sociales, con base en datos de Policía Nacional Civil, PNC.

B. Anexo 2: Ficha del estado de la seguridad vial en Guatemala

Organización Mundial de la Salud

GUATEMALA

Population: **13 353 911**

Income group: **Middle**

Gross national income per capita: **\$2 305**



INSTITUTIONAL FRAMEWORK	
Lead agency	Ministry of the Interior, Department of Transit of the National Civil Police
Funded in national budget	Yes
National road safety strategy	No (subnational)
Measurable targets	n/a
Funded	n/a

DATA
Reported road traffic fatalities (2004) 581^b (74% males, 25% females)
Reported non-fatal road traffic injuries (2004) 2 586^c
Costing study available No

^b National Statistical Institute data (mainly from police records), defined as died at the crash scene.

^c National Statistical Institute data (mainly from police records).

NATIONAL LEGISLATION	
Speed limits set nationally	Yes
Local authorities can set lower limits	Yes
Maximum limit urban roads	10–90 km/h
Enforcement ^a	0 1 2 ③ 4 5 6 7 8 9 10
Drink-driving law	No (subnational)
BAC limit – general population	n/a
BAC limit – young or novice drivers	n/a
Random breath testing and/or police checkpoints	n/a
Road traffic deaths involving alcohol	—
Enforcement ^a	n/a
Motorcycle helmet law	Yes
Applies to all riders	Yes
Helmet standards mandated	No
Helmet wearing rate	—
Enforcement ^a	0 1 2 ③ 4 5 6 7 8 9 10
Seat-belt law	Yes
Applies to all occupants	No
Seat-belt wearing rate	—
Enforcement ^a	0 1 2 3 4 ⑤ 6 7 8 9 10
Child restraints law	No
Enforcement ^a	n/a

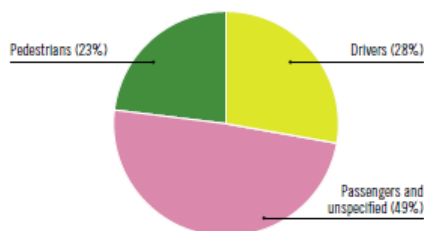
^a Enforcement score represents consensus based on professional opinion of respondents, on a scale of 0 to 10 where 0 is not effective and 10 is highly effective.

VEHICLE STANDARDS	
No car manufacturers	
ROAD SAFETY AUDITS	
Formal audits required for major new road construction projects	No
Regular audits of existing road infrastructure	No
PROMOTING ALTERNATIVE TRANSPORT	
National policies to promote walking or cycling	No
National policies to promote public transportation	No (subnational)

POST-CRASH CARE	
Formal, publicly available pre-hospital care system	No
National universal access number	n/a

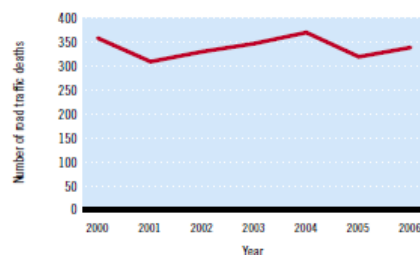
— Data not available.
n/a Data not required/not applicable.

DEATHS BY ROAD USER CATEGORY



Source: 2004, National Civil Police, Institute of National Statistics

TRENDS IN ROAD TRAFFIC DEATHS



Source: Vital Statistics

REGISTERED VEHICLES	
1 613 796 total (2008)	
Motorcars	28%
Motorized 2- and 3-wheelers	24%
Minibuses, vans, etc. (seating <20)	11%
Trucks	7%
Buses	5%
Non-motorized vehicles	<1%
Other	23%
Unspecified	2%

Data cleared by the Ministry of Public Health and Social Assistance.

C. Anexo 3: Listado para la Revisión Mecánica de Vehículos

Manual centroamericano de normas para la revisión mecánica de vehículos (SIECA)

- 3.1 Inspección visual y registro del vehículo
 - 3.1.1 Inspección de placas o matrícula
 - 3.1.2 Retrovisores exteriores
 - 3.1.3 Limpiaparabrisas, lavaparabrisas
 - 3.1.4 Guardabarros
 - 3.1.5 Modificaciones no autorizadas / Identificación
 - 3.1.6 Soporte rueda de repuesto
- 3.2 Carrocería
 - 3.2.1 Cabina
 - 3.2.2 Puertas (accionamiento, aberturas y cierres)
 - 3.2.3 Vidrios, parabrisas y ventanillas
 - 3.2.4 Pisos
 - 3.2.5 Estribos y agarraderas laterales (camiones y autobuses)
 - 3.2.6 Enganche o acoplamiento remolque (enganches traseros)
 - 3.2.7 Parachoques
- 3.3 Acondicionamiento interior
 - 3.3.1 Asiento conductos
 - 3.3.2 Asientos pasajeros, número de plazas
 - 3.3.3 Cinturones de seguridad
 - 3.3.4 Retrovisor interno
 - 3.3.5 Alumbrado interior y timbres
 - 3.3.6 Elementos de sujeción, aristas
 - 3.3.7 Extintores
 - 3.3.8 Herramientas, triángulos de seguridad y accesorios
- 3.4 Señalización
 - 3.4.1 Luces demarcadores en vehículos
 - 3.4.2 Luces indicadoras en direccionales
 - 3.4.3 Luz de freno
 - 3.4.4 Señalización intermitente de emergencias
 - 3.4.5 Luces de retroceso
 - 3.4.6 Dispositivos reflectantes
 - 3.4.7 Bocina
 - 3.4.8 Luz de posición trasera y delantera
- 3.5 Alumbrado

- 3.5.1 Proyector de luz alta
- 3.5.2 Proyectores de luz baja, renglaje
- 3.5.3 Luces de neblina
- 3.5.4 Indicadores en el panel de instrumentos
- 3.6 Frenos
 - 3.6.1 Freno de servicio
 - 3.6.2 Freno de estacionamiento
 - 3.6.3 Freno de inercia
 - 3.6.4 Frenos auxiliares
 - 3.6.5 Circuito (válvulas, palancas, cilindros, depósitos, tuberías y pedal de freno)
 - 3.6.6 Tiempos de respuesta y llenado
 - 3.6.7 Sistema antibloqueo (frenos ABS)
 - 3.6.8 Tambor, disco, pinza, mordaza y guardapolvos
 - 3.6.9 Freno de emergencia
- 3.7 Dirección
 - 3.7.1 Alineación de ruedas (divergencia / convergencia)
 - 3.7.2 Juegos en volante y columna de dirección
 - 3.7.3 Caja de dirección y soportes
 - 3.7.4 Columna de dirección, brazos y barras
 - 3.7.5 Rótulas y articulaciones (barras de dirección)
 - 3.7.6 Servodirección y accionamiento de la bomba hidráulica
 - 3.7.7 Amortiguador de dirección
- 3.8 Ejes y suspensión
 - 3.8.1 Eje delantero o brazos de sujeción
 - 3.8.2 Eje trasero o brazos de sujeción
 - 3.8.3 Rodamientos de rueda (delanteras y traseras)
 - 3.8.4 Aros y discos
 - 3.8.5 Llantas, dimensión y estado
 - 3.8.6 Llanta de repuesto
 - 3.8.7 Hojas de resortes (ballestas), muelles y topes
 - 3.8.8 Amortiguadores y soportes
 - 3.8.9 Barras de torsión, estabilizadora y articulaciones
 - 3.8.10 Brazos, bielas de suspensión y rótulas
 - 3.8.11 Otros sistemas de suspensión, suspensión neumática
- 3.9 Chasis, motor y transmisión
 - 3.9.1 Chasis, soportes y fijaciones
 - 3.9.2 Caja de cambios, transmisión, semiejes

- 3.9.3 Motor
- 3.9.4 Depósito de combustible, tapón y conducciones
- 3.9.5 Tubo de escape, silenciador
- 3.9.6 Nivel de ruidos
- 3.9.7 Emisión de contaminantes por flujo parcial
 - 3.9.7.1 Vehículos gasolina (motor encendido por chispa)
 - 3.9.7.2 Vehículos diesel (motor encendido por compresión)
- 3.9.8 Instalación eléctrica y batería
- 3.10 Otras normas y disposiciones técnicas
 - 3.10.1 Taxímetro
 - 3.10.2 Servicios de transporte remunerado de personas
 - 3.10.3 Indicador de velocidad

D. Anexo 4: Imágenes con detalles de señalización

Manual de Señalización del Tránsito de Chile

Figura 3-3

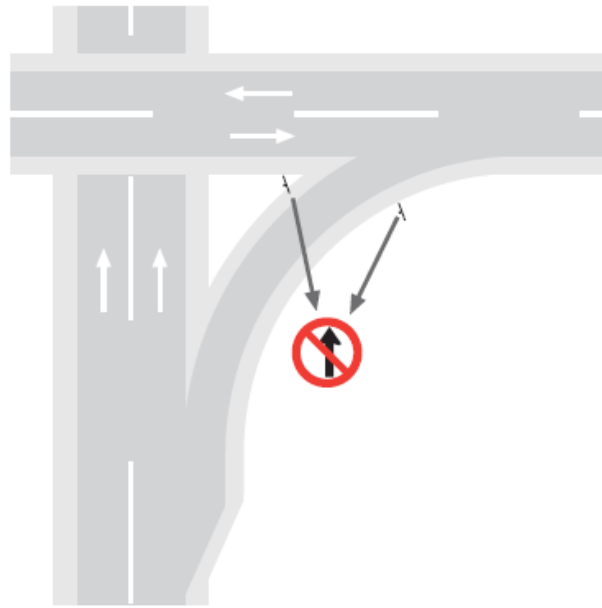
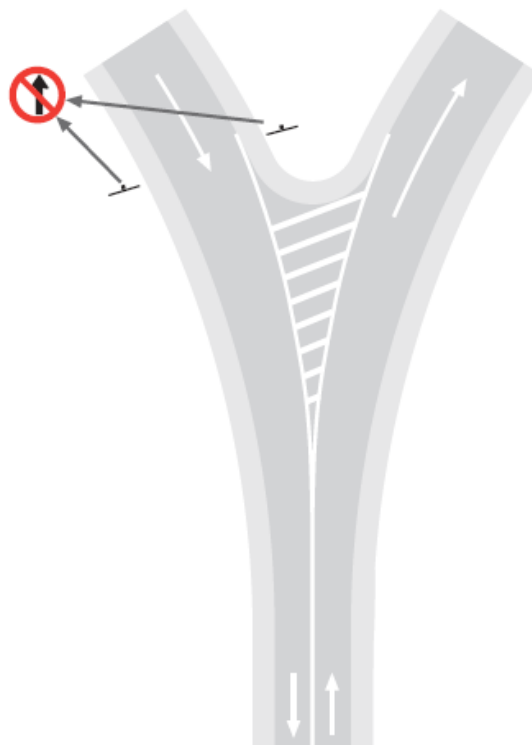


Figura 3-4



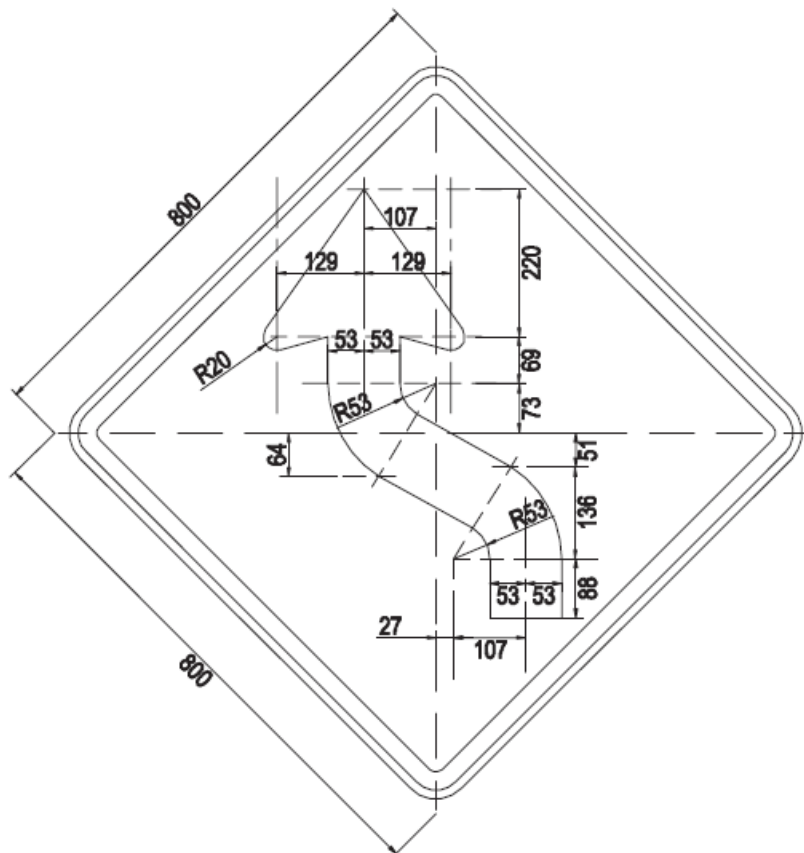


Figura 4-4

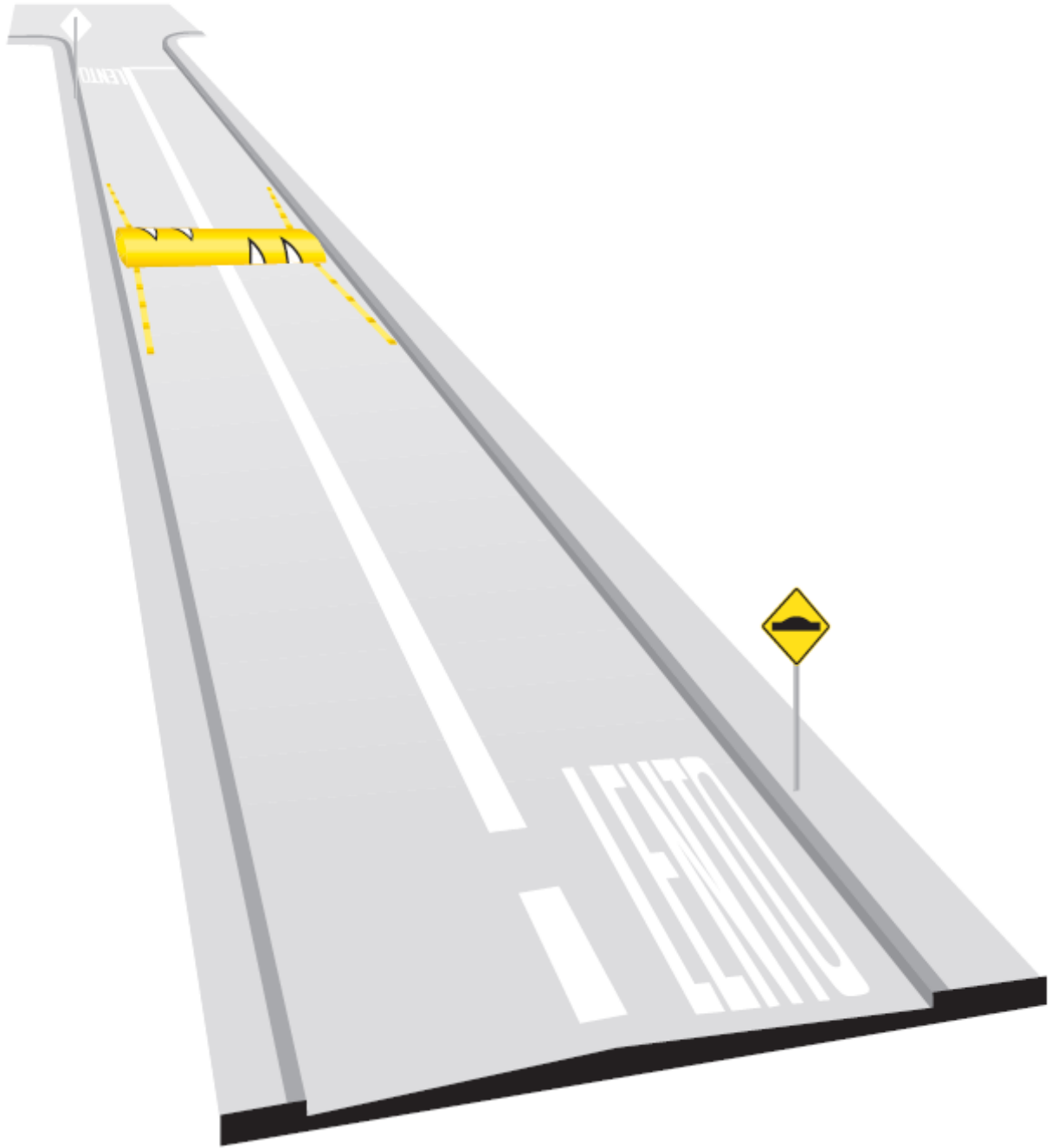
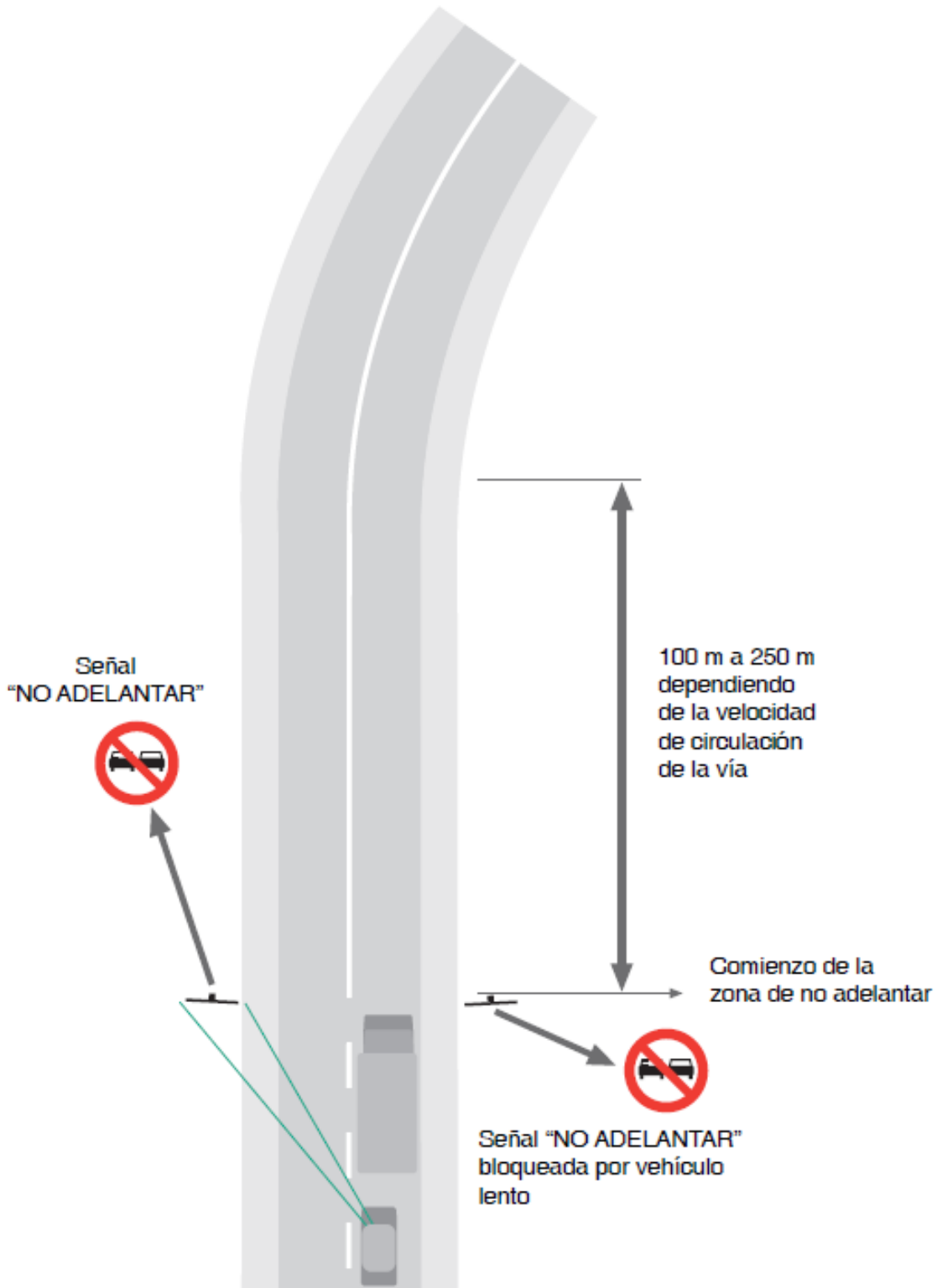


Figura 3-5



E. Anexo 5: Lista de chequeo para auditoría vial

Manual de Dispositivos de Control de Tránsito de Bolivia

LISTA DE CHEQUEO PARA AUDITORIAS VIAS RURALES EN OPERACION

ANEXO LISTA DE CHEQUEO PARA AUDITORIAS VIAS INTERURBANAS EN OPERACIÓN

Descripción	S/N
General	
¿Se han llevado a cabo las medidas indicadas en la auditoria anterior?	
¿Se ha desarrollado algún proyecto desde la auditoria anterior que afecte a los usuarios de la ruta?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Jerarquización	
¿El uso y las características de la ruta corresponden a la función para la cual fue proyectada y construida (Autopista; Camino tipo 1; etc.)	
¿La vía se intersecta sólo con vías de la misma categoría o de una categoría superior o inferior a la suya?	
¿Corresponde el tipo de intersecciones a las características funcionales de la ruta?, por ejemplo: En autopistas ¿son todas las intersecciones en desnivel?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Fricción Lateral	
¿Cruzan el camino sectores urbanos o semi urbanos?	
¿Existen zonas de generación y atracción de viajes en lados opuestos de la ruta (escuelas, postas, comercio, etc.)?	
¿Existe puntos de venta al borde de la calzada o sobre la berma?	
¿Existen áreas agrícolas o sectores industriales con accesos directo a la carretera?	
¿El tránsito interurbano pasa a través de zonas urbanas?	
¿Existen áreas comerciales a la orilla del camino?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Intersecciones	
¿Son las intersecciones entre la vía interurbana y las calles de servicio intersecciones en T con prioridad a la vía interurbana?	
¿Es adecuada la cantidad de accesos a la ruta?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Tramos de vía	
Cuando la vía tiene dos o más pistas por sentido ¿están los sentidos de tránsito separados por medio de una barrera en la mediana?	
¿Es suficiente el número de pistas para el flujo que pasa?	
¿Tienen la calzada y las pistas los anchos adecuados?	
¿Existe una berma con características uniformes en cada tramo?	
¿Es adecuado el ancho de las bermas?	
¿Existen tramos sin mediana?	
¿Es adecuado el ancho y el diseño de la mediana?	
¿Existe una zona despejada con un ancho adecuado a las velocidades de diseño de la vía?	
¿Existen obstáculos rígidos al borde del camino?	
¿Se ha aplicado la mejor opción de diseño para el tratamiento de elementos rígidos?	
¿Existen tramos o sectores con tres pistas?	
¿Es absolutamente clara y sin ambigüedades la demarcación en tramos de tres pistas?	
¿La pendiente transversal y el drenaje son satisfactorios?	
¿Existen restricciones a la visibilidad debidas a la geometría del camino?	
¿Existen curvas horizontales con radios restringidos?	
¿Es adecuado el peralte y la rugosidad del pavimento en curvas?	
¿Existe combinación de alineamientos verticales y horizontales?	
¿Existen curvas horizontales sin señalizar?	
¿Existen curvas horizontales con características que puedan resultar inesperadas para los conductores?	
¿Es adecuada la rugosidad del pavimento para la velocidad de diseño de la ruta?	
¿Existen defectos en la superficie del pavimento?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Cortes y terraplenes	
¿Existen en la ruta cortes que puedan presentar riesgo de desprendimiento de rocas o suelo?	
¿Existe evidencia o antecedentes de terraplenes con problemas de socavación?	
¿Existe evidencia o antecedentes de taludes con problemas de derrumbes?	
¿Se han tomado medidas preventivas?	
¿Es adecuada la pendiente transversal del o los terraplenes? De no ser así ¿qué medidas se han tomado para evitar la caída de un vehículo que se sale de la calzada?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Pendientes	
¿Existe una pista de subida para vehículos lentos tales como, camiones, buses?	

Descripción	S/N
¿Esta claramente señalizada la pendiente con mensajes de camiones no adelantar, camiones enganchar, tomar pista derecha, etc.?	
¿Se advierte a los usuarios cuando van por una pendiente descendente?)	
¿Requiere la pendiente de un lecho de frenado?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Superficie	
¿La superficie del camino es adecuada o algún tramo requiere tratamiento?	
¿Existen baches o deformaciones importantes de la carpeta?	
¿Se cumplen los requerimientos mínimos recomendados para una adecuada resistencia al resbalamiento?	
¿Las áreas con propensión a convertirse en sectores resbaladizos están siendo tratados con los materiales de superficie apropiados?	
¿Es posible mitigar los problemas de visibilidad bajo lluvia mejorando la textura del pavimento?	
¿Existen deformaciones del pavimento?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Drenaje	
¿Existe evidencia o información que delate un mal drenaje de la carretera?	
¿Existe evidencia o información de inundación de la calzada originada por los drenajes y los cursos de agua que cruzan o circulan cercanos a la carretera?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Condiciones climáticas	
¿Existen problemas de formación de hielo sobre la calzada?	
¿Existen obstrucciones sobre la calzada por acumulación de nieve, arena u otros elementos?	
¿Se forman bancos de neblina en algún tramo de la ruta?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Intersecciones	
¿El tamaño y ubicación de las señales permiten su visibilidad a una distancia adecuada tal que permita a los usuarios tomar decisiones con tiempo y del modo más seguro?	
¿Está claramente señalado el ingreso de las rutas secundarias a un camino de jerarquía superior y viceversa?	
¿Son las señales direccionales del tipo mapa?	
¿Existen elementos que obstaculicen las señales?	
¿Está claramente señalizada, o influida por el diseño, una disminución de velocidad en los tramos en que sea requerido, por ejemplo, ramales o al llegar a un cruce?	
¿Existe una adecuada demarcación en las pistas de aceleración y frenado con flechas sobre la calzada que indique la dirección de la pista?	
¿son necesarias las pistas de aceleración o deceleración, y si fueron provistas cuentan con el radio adecuado?	
¿Son los ramales lo suficientemente amplios y diseñados para permitir una maniobra segura a los vehículos pesados, por ejemplo, camiones con acoplado?	
¿Existen obstrucciones temporales de la calzada? (Por ejemplo, paradas de buses a tomar o dejar pasajeros.)	
¿Existe algún acceso o intersección con una calle de servicio próxima al empalme?)	
¿Está iluminada la intersección?. Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Intersecciones a Nivel	
¿Es adecuado el flujo para una intersección de prioridad? (2.4.3.1/8)	
¿Cuentan con un diseño adecuado que incluya una mediana ancha y pistas de incorporación y de salida?	
¿Ayudaría un refugio central con señalización extra?	
¿Es visible la intersección desde cualquiera de las rutas que se cruzan a una distancia igual o superior a la distancia de parada?	
¿Existen elementos que obstaculicen la visibilidad de los vehículos que acceden a la carretera?	
¿Es necesario utilizar demarcación e islas para el paso de peatones? (en la vía secundaria)	
¿Es el sistema de iluminación es suficiente para hacer visibles a los peatones?. Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante.	
Intersecciones en Desnivel	
¿Existen problemas de encandilamiento? Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
¿Se protege al usuario de un eventual impacto con los estribos?	
¿Se protege al usuario de un eventual impacto las cepas en la mediana?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Retornos y Giros a la izquierda.	
¿Está la posibilidad de esta maniobra claramente señalizada con la antelación suficiente y por separado?	
¿es consistente la demarcación con la señalización vertical?	

Descripción	S/N
El lugar en que se ha permitido esta maniobra ¿está ubicado de modo que asegure una distancia de visibilidad óptima?	
¿Algún poste, señal, árbol, etc. bloquea la visión del usuario mientras espera en la mediana para realizar la maniobra?	
¿Es lo suficientemente ancha la zona de espera en la mediana como para albergar camiones con acoplado?	
¿Se puede implementar un carril aislado exclusivo para esta maniobra?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Control de Accesos	
¿Existe un plan de control de accesos?	
¿Existen terrenos con acceso directo a la ruta?	
¿Es posible reducir el número de accesos?	
¿Es apropiada la ubicación de los accesos?	
¿Se han señalado adecuadamente?	
¿Se ha considerado la utilización de islas?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Control y Fiscalización	
¿Existe fiscalización sobre el uso de la faja fiscal respecto de construcciones, publicidad, accesos no autorizados que puedan interferir con la visibilidad o seguridad de los usuarios?	
¿Existen áreas residenciales construidas o en construcción que estén adyacentes a la vía?	
¿Existen problemas de fricción lateral como lanzamiento de piedras, robo de señales o defensas?. De existir investigar a que se deben, ¿Se requiere de un paso peatonal?, ¿Es necesario un cierre perimetral?, etc.	
¿Existen retornos no autorizados (giros en "U")?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Construcción de obras o labores en la vía	
¿Los métodos propuestos para él o los desvíos de tránsito presentan riesgos inherentes?	
¿Qué medidas pueden tomarse para minimizarlos?	
En tramos de dos pistas en las que una de las pistas este siendo utilizada, debe examinarse en extenso los siguientes puntos.	
¿Se convence a los automovilistas de que ya no están en una calzada de dos pistas, mediante el uso frecuente de señales, demarcación, defensas, etc.?	
¿Es de alto estándar la iluminación nocturna de las señales?	
¿Se está otorgando prevención donde ésta es necesaria?	
¿Se han tomado medidas especiales en la construcción de puentes de dos pistas?	
¿Se ha considerado que la demarcación provisoria deberá ser borrada?	
En los puntos de termino de un proyecto (especialmente cuando se pasa de dos pistas a una):	
¿La anticipación de la señalización es adecuada?	
¿Existen señales de no entrar al final de las dos pistas con tal de prevenir el flujo opuesto de vehículos?	
¿Se requiere el uso de delineadores o tambores de seguridad?	
¿Es adecuada la demarcación que lleva de dos pistas a una?	
¿Son continuas las líneas de borde?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Peatones	
¿Existen actividades que crean altos flujos peatonales, como colegios, centros turísticos, centros comerciales, en lados opuestos de la vía principal?	
¿Se encuentran conectados entre sí por medio de rutas peatonales continuas?	
¿En los paraderos de buses se ha considerado, en la ruta secundaria, la instalación de islas que faciliten y aseguren el flujo de peatones?	
¿El flujo de peatones que cruza la vía principal cuenta con una pasarela?	
¿Existe flujo de peatones o ciclistas en la vereda de algún puente en particular?	
¿Cuentan las pasarelas con una valla peatonal en la mediana?	
¿Existen fosos, sumideros u otros elementos que dificulten o puedan poner en peligro la integridad física de los peatones cerca de paraderos o áreas de descanso?	
¿Requiere el peatón cruzar más de dos pistas de tráfico a la vez antes de llegar a un lugar seguro?	
¿Están las demarcaciones en buen estado?	
¿Son claramente visibles?	
¿La demarcación es continua desde la vereda de origen hasta la vereda opuesta?	
¿Cuentan con iluminación y señalización apropiada?. Chequear el punto 1 de la lista de mobiliario y servicio y el punto 2 de elementos de seguridad)	
¿Existe flujo de escolares en horas punta? ¿Qué medidas se han tomado?	
Respecto de la pregunta anterior. ¿son las islas lo suficientemente grandes y con vallas peatonales adecuadas para el flujo de peatones en horas punta?	
¿Están las trayectorias peatonales claramente demarcadas?	
¿Dificultan la visibilidad o molestan al peatón las señales, postes, etc.?	

Descripción	S/N
¿Hay rebaje de la solera en los pasos peatonales y en los refugios?	
¿Pueden los conductores ver a los peatones en el refugio claramente?	
¿el sistema de iluminación cubre al área adyacente al cruce peatonal? Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
¿Está iluminada la acera opuesta al refugio? Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
¿Se ve el refugio al menos a una distancia de parada de 50 km/h?	
¿Existen zanjas, fosos o cunetas profundas en la ruta que los peatones utilizan para cruzar?	
¿pueden ser acomodados los rodados en la vereda y sobre los refugios (necesitan al menos de 1.5 m. de ancho)?	
¿Pueden los postes de las luminarias y cualquier señal distraer los conductores, en contra de resaltar la importancia de los peatones?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Pasarelas	
¿Están conectadas mediante aceras a los paraderos o a las áreas urbanas más próximas?. Comprobar que el acceso a la pasarela es adecuado.	
¿Se han tenido en consideración los niños, ancianos y minusválidos? Rampas en vez de escalas.	
¿Tienen una pendiente adecuada para los usuarios mayores?	
¿El ancho de la pasarela permite el cruce de rodados?	
¿Se han implementado vallas peatonales en la mediana para desincentivar el cruce de los peatones a través de la calzada?	
¿Cuentan con defensas adecuadas los pilares en los bordes del camino y la cepa en la mediana?	
¿Es necesario colocar una reja que evite el lanzamiento de piedras u otros objetos a la calzada?	
Si la zona es lluviosa ¿se ha incluido techumbre?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Ciclistas	
Si existen ciclistas en la ruta. ¿Permite la jerarquía de la ruta el tránsito de ellos por la berma o la calzada?	
De no ser así. ¿Qué medidas se han tomado?	
¿Se han tomado en cuenta las necesidades de cruce de los ciclistas en el diseño de las intersecciones?	
¿Existe una ciclo vía por las calles de servicio?	
¿Pueden los ciclistas cruzar la calzada por las pasarelas peatonales?	
¿Pueden los ciclistas cruzar la calzada por los pasos inferiores en forma segura?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Paraderos de buses.	
¿Están bien ubicados?	
¿Están los paraderos de buses cerca de las pasarelas peatonales?	
¿Están los paraderos de buses ubicados después de las intersecciones y puntos de acceso a la calzada?	
¿Existen detenciones de buses sobre la berma para tomar o dejar pasajeros?	
¿Están los paraderos de buses de calzadas opuestas uno frente al otro?	
¿Están los paraderos de buses conectados mediante aceras peatonales al entorno urbano?	
¿Cuentan los paraderos de buses con un sistema de iluminación adecuado? Chequear Punto 1 de la lista Mobiliario y Servicio.	
¿Es necesario el uso de vallas peatonales para ordenar a los peatones en la zona de espera del paradero?	
¿Esta debidamente señalizado el paradero?	
En autopistas y rutas expresas. ¿Cuentan con una pista de acceso, zona de parada y pista de aceleración debidamente diseñada y claramente demarcada?	
¿Existe conocimiento de si el paradero se inunda durante la época de lluvias? ¿Es posible "levantarlo"?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Control y fiscalización	
¿Existen puntos de control fuera de la calzada?	
¿Las plazas de pesaje están adecuadamente señalizadas y separadas de las pistas principales?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante	
Defensas Camineras	
¿Están protegidas todas las áreas de riesgo?	
¿Están correctamente instaladas las defensas?	
¿Cumplen las barreras con niveles de contención, severidad y deformación adecuados?	
¿Están enterrados los terminales o con dispositivos amortiguadores de impacto de acuerdo a la necesidad?	
¿Cuentan con defensas todos los puntos duros en la mediana?	
¿Existen interrupciones en la defensa de la mediana? . Si existen ¿A que se deben?	
¿Están traslapadas estas interrupciones?	
¿Es adecuada el lapso con la que se reponen las defensas destruidas?	

Descripción	S/N
Señalización (pendiente)	
¿Son bastantes?, ¿son demasiadas?	
¿Está claramente indicada la pista en que cada conductor debe ir?	
Principalmente en enlaces o salidas de la carretera. ¿Se otorga información oportuna a los usuarios para navegar y elegir la pista que conduce a su destino?	
¿Las señales entregan mensajes claros y sencillos a los usuarios? Por ejemplo, iconos en vez de textos.	
¿Están correctamente ubicadas, sin obstruir la visibilidad?	
¿Son potencialmente confusas o engañosas?	
¿Es adecuada la señalización preventiva?	
¿Es adecuada la señalización reglamentaria?	
¿Es adecuada la señalización informativa?	
¿Es necesario realizar cambios a la señalización?	
¿Existen obstáculos (árboles, luminarias, señales, paraderos, etc.) que impidan la visión de las señales o delineadores ?	
Demarcación	
¿La textura de la superficie ayuda a la visibilidad de los conductores en condición de lluvia?	
¿Existen demarcaciones que deban ser borradas? ¿Se necesita pulir?	
¿Es satisfactoria la demarcación del camino?, ¿refuerza la señalización?	
¿Es adecuado el contraste de la marca vial con el pavimento en los sectores con iluminación?	
¿Es adecuado la retroreflexión y el ancho de las líneas de centro en tramos no iluminados?	
¿Es adecuado la retroreflexión y el ancho de las líneas de borde en tramos no iluminados?	
¿Cumplen las marcas viales con la resistencia al resbalamiento mínima?	
Delineadores	
¿Cuentan todas las curvas horizontales, que no se encuentran iluminadas, con al menos tres delineadores direccionales?	
¿Son elementos franqueables?	
¿Presentan resistencia al vandalismo y al mal tiempo?	
¿Se mantienen limpios?	
Tachas	
¿Cuentan con una adecuada retroreflectancia?	
¿Puede su ubicación ocasionar problemas a vehículos de dos ruedas?	
¿Están todas? ¿Faltan?	
¿Se conoce su fecha de instalación y su marca? ¿Han cumplido su tiempo de vida?	
En curvas ¿Existen al menos tres consecutivas?	
Iluminación	
¿Existen postes de luminarias cercanos a la calzada que puedan constituir un elemento de riesgo? Especialmente en accesos e intersecciones. ¿La ubicación de los postes dificulta la visión de los conductores?	
¿La iluminación es uniforme?	
¿Existen problemas de encandilamiento al llegar a un enlace o singularidad importante?	
¿Están iluminadas las pasarelas peatonales?	
¿Están iluminados los paraderos de buses?	
¿Están iluminados los cruces peatonales?	
¿Hay zonas de riesgo que no estén iluminadas?	
¿El sistema de iluminación es el más eficiente?	
¿la ubicación de cajas, pilares, postes, casetas de inspección esta en lugares seguros y con barreras de ser necesarias (existe acceso para la mantención)?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante.	
Áreas verdes	
¿Existe conflicto entre las áreas verdes y los requerimientos de visibilidad?	
¿Se ha considerado la altura final de crecimiento de las especies plantadas, las potenciales obstrucciones de visibilidad para los peatones, y el potencial objeto de colisión que pueden llegar a ser los árboles?	
¿Puede realizarse la mantención de las áreas verdes en forma segura?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante.	
Servicios	
En los centros de servicio. ¿Se encuentran los estacionamientos ubicados lejos de las áreas de juegos infantiles?	
¿Existen zonas de descanso?	
¿Existen estacionamientos y zonas de servicio para camiones?	
¿Existe un sistema de vigilancia en la ruta? ¿es adecuada la frecuencia de estos equipos para la ruta?	
¿Existe un plan coordinado de emergencias entre bomberos, ambulancias y carabineros? En el caso de túneles este punto es de vital importancia.	
¿Existen los elementos médicos para otorgar atención primaria a los accidentados?	

Descripción	S/N
¿Existen barreras móviles en la mediana? ¿Funciona el sistema?	
¿El equipo de vigilancia monitorea bajo condiciones climáticas adversas, la presencia de escarcha (en horas de la madrugada) o inicio de inundación de la calzada u otras consecuencias negativas del clima?	
¿Se conocen los puntos en que frecuentemente existen estos problemas? ¿Qué medidas se toman para palearlos?	
Teléfonos de Emergencia	
¿Están ubicados en las distancias proyectadas?	
¿Es necesario implementar más?	
¿Se ubican uno frente a otro en calzadas opuestas?	
¿Funcionan correctamente bajo condiciones climáticas adversas?	
¿Están adecuadamente protegidos con defensas camineras?	
¿Cuentan con zona de estacionamiento?	
¿Están iluminados?	
¿Conocen los usuarios de su utilización y existencia?	
¿Cómo funciona el sistema de recepción de llamadas?	
¿Quedan grabadas las llamadas?	
¿Funciona las 24 horas?	
¿Se coordinan con vigilancia, carabineros, etc.?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante.	
Zonas de descanso	
¿Los usuarios se estacionan en la berma por falta de estacionamientos, zonas de descanso o miradores?	
¿Se han considerado zonas de descanso diseñadas para vehículos pesados al llegar a centros urbanos?	
Otros chequeos de acuerdo al criterio del auditor o mandante.	

F. Anexo 6: Lista de chequeo para auditoría vial

Road Safety Audit Guidelines Federal Highway Administration

PROMPT LIST 1

Planning Stage Audit						
General Topics	Design Issues	Intersections	Interchanges	Environmental Constraints	Safety Aspects Not Already Covered	
1 Scope of project, function, traffic mix, road users	1 Route choice	1 Location, spacing types	1 Location, spacing	1 Surrounding terrain	Flooding, rail crossings, roadside parking, special events, emergency vehicles, rest areas, etc	
2 Type and degree of access to property and developments	2 Impact of continuity with the existing network	2 'Readability' (perception) by drivers	2 Types, layouts	2 Weather, sunlight		
3 Major generators of traffic	3 Broad design standards	3 Road users, traffic mix	3 Ramps, terminal intersections	3 Noise barriers, animal fencing		
4 Staging of construction	4 Design speed	4 Design consistency	4 Design consistency	4 Animal crossings		
5 Future reconstruction projects	5 Design volume and traffic characteristics	5 Number of lanes	5 Number of lanes	5 Visual distractions		
6 Wider network effects	6 Right of way			6 Unstable land		
	7 Combination of features					

PROMPT LIST 2

Preliminary Design Stage Audit									
General Topics	Design Issues	Alignment Details	Intersections	Interchanges	Special Road Users	Lighting, Signs and Delineation	Traffic Management	Environmental Constraints	Safety Aspects Not Already Covered
1 Drainage	1 Design Standards	1 Geometry of horizontal and vertical alignment	1 Visibility to and visibility at intersections	1 Visibility	1 Adjacent land	1 Lighting	1 Traffic flow and access restrictions	1 Surrounding terrain	Special events, consequent unusual or hazardous conditions, oversize vehicles, etc.
2 Landscaping	2 Typical cross sections and recovery zones	2 Visibility and sight distance	2 Layout, including the appropriateness of type	2 Layout, control	2 Pedestrians	2 Signs	2 Passing and merges	2 Weather, sunlight	
3 Utility accommodations	3 Effect of cross sectional variation	3 New/existing road transitions	3 'Readability' (perception) by drivers	3 Lanes, shoulders	3 Bicyclists	3 Marking and delineation	3 Rest areas and stopping zones	3 Noise barriers, animal fencing	
4 Access to property and developments	4 Roadway layout	4 'Readability' (perception) of the alignment by drivers	4 Pedestrians, bicyclists	4 Ramps	4 Older drivers		4 Construction and operation	4 Animal crossings	
5 Adjacent developments	5 Shoulders and edge treatment		5 Design consistency	5 Pedestrians, bicyclists	5 Motorcyclists			5 Visual distractions	
6 Emergency vehicles and access	6 Effect of departures from standards or guidelines			6 Design consistency	6 Equestrians and stock			6 Unstable land	
7 Future reconstruction projects (widening and/or realignments)	7 Flexibility of the design			7 Clearances, visual perception of structures	7 Motor carriers				
8 Staging of construction	8 Design consistency				8 Public transport				
9 Maintenance					9 Road maintenance vehicles				
10 Human factors					10 Snowmobiles and ATVs				
11 Changes since previous audit					11 Special (slow moving) vehicles				

PROMPT LIST 4

Work Zone Traffic Control Plan Audit

Road Function, Classification, Environment	Traffic Management	Alignment	Parking and Servicing	Signs and Marking	Landscaping	Safety Aspects Not Already Covered
1 Office documentation and set up of work zone	1 Traffic controls	1 Signs	1 Temporary traffic signals	1 General	1 Pavement defects	
	2 Speed management	2 Day/night sign requirements	2 Location	2 Elderly and disabled access	2 Skid resistance	
2 Alignment	3 Work site access	3 Traffic control	3 Visibility	3 Bicyclists	3 Ponding/icing/snow accumulation	
3 Turning radii and tapers		4 Delineation and reflective markers	4 Signal display			
4 Traffic lane safety and visibility		5 Pavement marking	5 Traffic movements			
5 Night time safety		6 Detours				
6 Maintenance						
7 Access to property						
8 Safety barriers						
9 Human factors						
10 Work zone inspections						

PROMPT LIST 5

Pre-Opening Stage Audit								
General Topics	Alignment Details	Intersections	Interchanges	Special Road Users	Lighting, Signs and Delineation	Roadside	Operation	Safety Aspects Not Already Covered
1 Drainage	1 Visibility, sight distance	1 Visibility of inter-section	1 Visibility, sight distance	1 Adjacent land	1 Lighting	1 Median barriers	1 Operation	
2 Climatic conditions	2 New/existing road transitions	2 Visibility at inter-section	2 'Readability' (perception) by drivers	2 Pedestrians	2 Signs	2 Poles and other obstructions	2 Traffic management	
3 Landscaping	3 'Readability' (perception) of the alignment by drivers	3 'Readability' (perception) by drivers	3 Signing, marking, delineation	3 Bicyclists	3 Marking and delineation	3 Roadside barriers	3 Removal of temporary traffic control/management devices	
4 Utilities	4 Bridges and culverts	4 Pedestrians, bicyclists	4 Pedestrians, bicyclists	4 Older drivers		4 Pedestrian railing		
5 Access to property and developments		5 Traffic signals	5 Lighting	5 Motorcyclists		5 Bridges, culverts and causeways/floodways		
6 Emergency vehicles and access		6 Signing and marking		6 Equestrians				
7 Side slope treatment		7 Roundabouts and approach islands		7 Motor carriers				
8 Shoulders and edge delineators		8 Lighting		8 Public transport				
9 Signs and markings				9 Road maintenance vehicles				
10 Surface treatment, skid resistance				10 Snowmobiles and ATVs				
11 Changes since previous audit: translation of design into practice				11 Special (slow moving) vehicles				

PROMPT LIST 6 (2 OF 2)

Existing Road Audit							
Older Drivers	Bridges and Culverts	Pavement	Parking	Provision For Heavy Vehicles	Floodways and Causeways	Other Safety Issues	
1 Turning operations (receiving lane widths, radii)	1 Design features	1 Pavement defects		1 Design issues	1 Ponding and flooding	1 Landscaping	
2 Channelization, opposing left turn lanes	2 Barriers	2 Skid resistance		2 Pavement/shoulder quality	2 Safety of devices	2 Temporary works	
3 Sight triangles	3 Pedestrian and recreational facilities, delineation	3 Ponding/icing/snow accumulation				3 Headlight glare	
4 Signing, marking and delineation		4 Loose stones/material				4 Roadside activities	
5 Traffic signals		5 Manholes				5 Signs of possible problems (pavement, roadside)	
						6 Rest areas	
						7 Environment	
						8 Median curbing	

PROMPT LIST 7

Land Use Development Proposals Audit

Road Function, Classification, Environment	Traffic Management	Alignment	Parking and Servicing	Signs and Marking	Landscaping	Safety Aspects Not Already Covered
		1 Horizontal alignment	1 Parking provision			
		2 Vertical alignment	2 Servicing facilities			

Prompt List 1 - Detailed (Sample portion)

Planning Stage Audit

Intersections

1. Location, spacing, types

- Are all intersections located safely with respect to the horizontal and vertical alignment?
- Where intersections occur at the end of high-speed environments (e.g., at approaches to towns); are there traffic control devices to alert drivers?

2. Readability (perception) by drivers

- Is the form and function of the intersection clear to drivers on all approaches? (Check by driving.)
- Are all conflict points between vehicles safely managed?
- Is the intersection layout obvious to all road users?
- Is the alignment of curbs obvious and appropriate?
- Is the alignment of traffic islands obvious and appropriate?
- Is the alignment of medians obvious and appropriate?
- Can all likely vehicle types be accommodated?
- Are merge tapers long enough?
- Is the intersection free of capacity problems that may produce safety problems?
- Are there sufficient visual cues to prevent overshooting into the conflicting traffic?

3. Road Users, traffic mix

Pedestrians, bicyclists

- Are the sight lines adequate for the safety of all pedestrian groups?
- Is the movement of vulnerable road users safely accommodated at all intersections?

4. Design Consistency

.....

G. Anexo 7: Lista de chequeo para auditoría vial

ROAD SAFETY AUDIT — STAGE 1 PLANNING AND FEASIBILITY STAGE

Checklist		Comment
<p>Information Required for the Audit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maps/plans of the region and road network • Traffic reports showing existing and projected traffic • Flow information on the arterial road network • Details of any proposed local and area-wide traffic management strategies • Maps/plans showing existing and proposed land-use strategies • Planning reports and associated plans, typical cross-sections • Proposed grade lines comprising the plans to be audited 		
<p>Audit Items</p> <ul style="list-style-type: none"> • Road Network Effects <ul style="list-style-type: none"> General traffic management strategy Functional classification of the road in question Network structure and hierarchy Major traffic generators Location and spacing of intersections/interchanges Terminal problems Access control strategy Traffic management during construction • General Geometric Standards <ul style="list-style-type: none"> Appropriateness to route class, function Topography and environment Meeting community and road user expectations Route continuity and consistency Stage development of the project Unusual features such as tunnels, long bridges that may have reduced standards • Outline Provision for Users with Special Needs <ul style="list-style-type: none"> Pedestrians Pedal cyclists Motorcyclists • Access Control Details <ul style="list-style-type: none"> Use of one-way or two-way service roads Needs of special road user groups Adequacy of alternative routes of access where access is restricted • Environmental Considerations <ul style="list-style-type: none"> Prevalence of high winds, fog, etc. Scenic vistas and outlooks that may distract driver attention • Consideration of Alternatives <ul style="list-style-type: none"> Is road safety performance included in the evaluation criteria 		

**ROAD SAFETY AUDIT — STAGE 2
PRELIMINARY (DRAFT) DESIGN**

Checklist	Comment
<p>Information Required for the Audit</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Details of any Stage 1 (Planning Stage) Audit, including decisions made on the matters raised in that audit ♦ Planning and "route adoption" reports, on which the preliminary design has been based ♦ Traffic reports containing existing and predicted traffic flows, including "design flows" for all movements at intersections and interchanges ♦ Preliminary layout plans, cross-sections, grade lines, etc. to be audited 	
<p>Audit Items</p> <p>Design Criteria</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ that criteria are appropriate to the functional class of road, the nature of the topography, and the volume and type of traffic. 	
<p>Cross-Section</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Adequacy of lane widths, shoulders, roadside clearances, width of medians and separators, including the provision of adequate right-of-way width for grading, verges, footpaths etc. ♦ That, if special lanes or carriageways are required for motorcycles, or bicycles, the widths are adequate ♦ For consistency of the cross-section along the route 	
<p>Horizontal and Vertical Alignment</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ the design speed of horizontal curves for consistency ♦ for any substandard curves ♦ that vertical alignment standard is consistent and coordinated with the horizontal alignment ♦ adequacy of stopping sight distance, and the availability of overtaking sight distance ♦ for unsatisfactory combinations of vertical and horizontal alignment, which may mislead drivers in respect to overtaking or the direction of the route ahead 	
<p>Interchanges and Intersections</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ The appropriateness of type of interchange or intersection ♦ The adequacy of the layout from a capacity viewpoint ♦ The provision of auxiliary lanes and the achievement of proper "lane balance" and "through lane" continuity and the avoidance of "trap lanes" 	

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> • The achievement of various sight distance criteria, including approach sight distance, entering or crossing sight distance, safe intersection sight distance, sight distance to queued vehicles, sight distance for pedestrians, sight distance at interchange entry and exit ramp noses • That the layout caters adequately for large vehicles and for public transport vehicles where applicable; the need/provision of specific safety-related features, e.g., median barriers, street lighting • That the need for special arrangements of traffic signing for safe operation is identified for action at the detailed design stage • That the specific needs of particular road users, such as motorcyclists, bicyclists, and pedestrians, have been considered and any action required at the detailed design stage has been noted 		
<p>Access Control/Provisions Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The appropriateness of access control, particularly in the vicinity of interchanges and intersections • Where access is to be restricted, check the suitability and adequacy of alternative access, particularly to large traffic generators • Where pedestrian access is to be restricted, check that the need for appropriate fencing is noted for action at the detailed design stage 		
<p>Major Land Use Developments Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That major land use developments adjacent to highways properly consider the road safety implications • The adequacy of access and egress arrangements, e.g., avoidance of entry and exit driveways too close to interchanges and intersections and the avoidance of queues from driveways extending onto the highway • That the layout of driveways and type of traffic control are appropriate to the function of the highway; that the needs for pedestrians and public transport access to the development have been identified and provided for • The adequacy of "off-street" parking, and the provision of parking controls on the highway 		
<p>Stage Development of Major Projects Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That the stage development strategy takes account of traffic safety requirements • The arrangement and siting of temporary terminals, avoiding locations of poor sight distance, locations complicated by busy intersections and restricted alignment standards • For unexpected changes in geometric standards, and situations that are likely to result in the unexpected onset of traffic congestion 		

**ROAD SAFETY AUDIT — STAGE 3
DETAILED DESIGN**

Checklist	Comment
<p>Information Required for the Audit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Audit report and decisions on earlier stage audits • Locality plan showing road network and general topographic details in the region of the project • Statement of the design criteria • Relevant traffic demand information • Horizontal and vertical alignment plans • Cross-sections • Grading and drainage plans showing the location and general details of drainage structures • Bridge layout plans including cross-sections and details of barrier systems • Interchange and/or intersection layouts • Traffic signal layouts and design information • Traffic signing and road marking plans • Street lighting layouts and design information • Landscaping and beautification plans and tree planting details • Plans showing relevant overhead services/utilities 	
<p>Audit Items</p> <p>General Items to be Checked</p> <ul style="list-style-type: none"> • Design criteria • Consistency among the items relevant to road safety • Route planning and location • Aspects that have adverse safety implications, or previous decisions that have "locked in" constraints to the detailed design that may lead to unsatisfactory safety performance • Adequacy of reservation width to achieve a safe cross-section, considering the needs of all road users • Appropriateness of the proposed access control 	
<p>Management Strategy Proposed, Considering Such Aspects as the Following</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proposed speed limit • Vehicle type restrictions • Proposed segregation of vulnerable road users • On-street parking provisions/restrictions • Turn restrictions • Special provisions for pedestrians and/or bicyclists • Special provisions for motorcyclists • Special provisions for trucks and/or buses • Provision of "motorist facilities" such as rest and service areas, laybys, etc. 	

Checklist		Comment
<p>Check that climatic and weather implications have been taken into account, e.g.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wet weather and flooding effects • High winds • Fog-prone areas 		
<p>Geometric Design Elements</p> <p>Check the horizontal alignment in respect to</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correct choice and application of design speed • Consistency of horizontal alignment along the route • "Substandard" curves • Provision of transition curves (spirals) where appropriate • Horizontal alignment at the "interface" between the proposed construction and the existing road network <p>Check the vertical alignment in respect to</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consistency along the route • Sight distance. <p>Check combination of horizontal and vertical alignment for</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adequacy of stopping sight distance • The achievement of overtaking sight distance • The achievement of approach sight distance at intersections • Adequacy of sight distance at locations where there is a discontinuity in the cross-section standard • Combination of horizontal and vertical alignment that results in unexpected areas of "hidden" pavement or areas 		
<p>Grades</p> <p>Check for</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sections with steep downgrades • Sharp curves on steep downgrades, check adequacy of super elevation rate to achieve appropriate design speed • Sections with steep upgrades and the need for "slow vehicle" provisions 		
<p>Cross-Section</p> <p>Check for</p> <ul style="list-style-type: none"> • Number and width of traffic lanes, width of shoulders or emergency stopping lanes • Median and separator width (where applicable) • Batter heights and slopes and guardrail requirement • Use of correct types of kerbs (avoid barrier kerbs) • The provision of footpaths • Clearances to barriers and barrier types • Appropriate transitions at locations where the cross-section changes significantly 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Special provisions needed for vulnerable road users such as pedestrians, bicyclists, motorcyclists ♦ Differences in level between the roadways of divided roads at intersections or access driveways ♦ Sight line obstruction by batter slopes through cuttings on curves 		
<p>Interchanges and Intersections</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ General layout logic ♦ Visibility and sight distance <p>Check the following sight distance criteria applicable at intersections, and identify any situation where a deficiency is evident</p> <ul style="list-style-type: none"> - Approach sight distance - Entering or crossing sight distance - Safe intersection sight distance - Sight distance to queued vehicles - Sight lines and visibility to traffic signals and signs <p>At interchanges, check the following additional sight distance criteria</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sight distance to exit nose and "gore" area - Sight distance to the entry and merge area <ul style="list-style-type: none"> ♦ Auxiliary lanes and lane continuity <p>Protection for "turning" vehicles at important intersections Avoidance of "trap" lane arrangements</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Island size and shape <p>Traffic islands should be large enough to be easily visible; cater adequately for any traffic signs, signals, street lights; and provide adequate refuge for pedestrians</p> <p>Shape of the islands should guide vehicles into the correct travel path</p> <p>Approach noses should be properly offset from the edge of traffic lanes</p> <p>At roundabouts, check the shape and positioning of the approach "deflection/splitter islands" to ensure control of entry speed</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Land and turning roadway widths to provide adequately for large/heavy vehicles turning at low speed ♦ Kerbs type <p>Incorrect kerb usage may constitute a hazard to road users, particularly motorcyclists</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Provisions for Pedestrians <ul style="list-style-type: none"> - Lack of provision of footpaths and kerb ramps at crossing points 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> - Adequate area/width for medians and roadway separators, including pedestrian refuge islands • Signals, signs, lighting, and other road furniture Not to be placed in vulnerable locations such as at the nose of traffic islands <p>Should not obstruct normal pedestrian movements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vehicle parking and bus stops <ul style="list-style-type: none"> - Identify the need for parking restrictions and check that proposed bus shelters and "waiting" buses will not obstruct sight lines important for the safe and efficient operation of the intersection. - Check that where on-street parking is to be provided, parking maneuvers will not interfere with traffic moving through the intersection. - Identify sites where stationary buses at bus stops will interfere with the movement of other traffic. • Property access points Are they likely to create unexpected traffic conflicts or otherwise hazardous traffic conflicts? 		
<p>Audit of Traffic Signal Installations</p> <p>Check that</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traffic signals proposed only where they are warranted • Proposed signal phasing provides adequately for the required traffic (and pedestrian) movements • No unexpected conflict situations arise in the signal phasing, and that special phases for right turn movements are provided where justified • Required "intergreen time" for each phase change is sufficient to allow safe operation • The number and location of signal heads and posts ensure that each separately controlled vehicle movement has at least two (and preferably three or four) signal heads controlling it and that minimum visibility requirements are met • Adequate clearances are provided between the face of kerb and the signal head not located in islands and medians too small or narrow to afford the equipment adequate protection from vehicle impacts • The correct signal size and brightness are provided and that back plates are provided • Pedestrian signal displays and associated "call buttons" are provided at sites where it is expected that pedestrians will cross signal-controlled roadways 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> - Adequate area/width for medians and roadway separators, including pedestrian refuge islands • Signals, signs, lighting, and other road furniture Not to be placed in vulnerable locations such as at the nose of traffic islands <p>Should not obstruct normal pedestrian movements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vehicle parking and bus stops <ul style="list-style-type: none"> - Identify the need for parking restrictions and check that proposed bus shelters and "waiting" buses will not obstruct sight lines important for the safe and efficient operation of the intersection. - Check that where on-street parking is to be provided, parking maneuvers will not interfere with traffic moving through the intersection. - Identify sites where stationary buses at bus stops will interfere with the movement of other traffic. • Property access points Are they likely to create unexpected traffic conflicts or otherwise hazardous traffic conflicts? 		
<p>Audit of Traffic Signal Installations</p> <p>Check that</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traffic signals proposed only where they are warranted • Proposed signal phasing provides adequately for the required traffic (and pedestrian) movements • No unexpected conflict situations arise in the signal phasing, and that special phases for right turn movements are provided where justified • Required "intergreen time" for each phase change is sufficient to allow safe operation • The number and location of signal heads and posts ensure that each separately controlled vehicle movement has at least two (and preferably three or four) signal heads controlling it and that minimum visibility requirements are met • Adequate clearances are provided between the face of kerb and the signal head not located in islands and medians too small or narrow to afford the equipment adequate protection from vehicle impacts • The correct signal size and brightness are provided and that back plates are provided • Pedestrian signal displays and associated "call buttons" are provided at sites where it is expected that pedestrians will cross signal-controlled roadways 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> • That approach hazard markings are shown on plans at the approach end of traffic islands, medians, and separating islands and in the exit ramp "gore" areas at expressways and other interchanges • The correct positioning of all transverse lines such as "stop" lines, holding (or "give way") lines, and pedestrian crossing lines • That reflectorized road markings are specified to enhance night-time visibility • That retro-reflective pavement markers or road studs are specified to supplement surface markings where there is a need for longer distance visibility at night and more effective pavement delineation 		
<p>Audit of Street Lighting Design</p> <p>Check that</p> <ul style="list-style-type: none"> • The extent of street lighting is appropriate to traffic safety needs of road users and identify situations where unlit short lengths of roadway are mixed with lit sections • The standard of lighting including uniformity and possible "glare" effects is appropriate to the needs of the traffic situation • Lighting transitions are provided where street lighting ends • Lighting poles themselves do not constitute a roadside hazard • Lighting poles do not significantly obstruct driver sight lines 		
<p>Audit of Roadside Safety Provisions</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The provision of a "clear zone" • The use of frangible types of road furniture • Guardrail provisions and design details • Minimum length of guardrail required to ensure that it functions properly • Guardrail positioning relative to kerbs and objects being protected • Bridge ends and guardrail to bridge rail transitions • Barriers and railings on bridges and elevated roadways • Landscaping and beautification • Other roadside hazards • Safety treatment of uneven rock cut batters • Roadways close to permanent deep water such as rivers • Lakes or seashore slopes close to the traffic lanes • Horizontal rails in pedestrian fencing close to roadways 		
<p>Audit of Provisions for Special Road Users</p> <p>Pedestrians</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lack of footpaths or locations where footpaths are obstructed by posts and other road furniture 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> • Lack of kerb ramps or "dropped kerbs" at crossing points particularly at signalized intersections • Lack of specific crossing facilities such as signalized crossings, refuge island, zebra crossings, or grade separations where warranted • Lack of specific pedestrian signal heads and signal phasing at locations where there is significant nighttime pedestrian activity • Insufficient space for pedestrian refuge on traffic islands, medians, etc. • Traffic management and devices to enable pedestrians to cross wide roadways with continuous uninterrupted traffic flows 		
<p>Motorcycles Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horizontal and vertical alignment and sight distances, appropriate to the expected operating speed • Cross-section standards, which provide adequate width of lanes or roadway for motorcyclists • Appropriate clearances to roadside objects, merge and diverge areas • Clear designation of priority between conflicting streams of traffic at junctions • Adequate line and pavement marking to ensure an orderly flow of vehicles and good delineation of the route ahead • Appropriate regulatory, warning, and direction signing with legibility and sign positioning • Appropriate types of guardrails or barriers • Provisions such as fully paved shoulders or special treatments at signalized intersections 		

**ROAD SAFETY AUDIT — STAGE 4
DURING CONSTRUCTION**

Checklist	Comment
<p>Information Required for the Audit</p> <p>In the Stage 4 Audit, there is less emphasis on reviewing plans and the major part of the audit will involve site inspection activities. The auditor will therefore require the following</p> <ul style="list-style-type: none"> • A full set of construction plans, including plans for any traffic diversions and layouts associated with traffic management during construction • Tape for distance measurement • Photographic equipment • Note taking and/or recording equipment 	
<p>Audit Items</p> <p>General Grading, Alignment, and Cross-Section Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sight distance (e.g., stopping sight distance) over crests, across the inside of horizontal curves, and on the approaches to intersections and at "entry" and "exit" ramps at interchanges • Combinations of horizontal and vertical alignment resulting in areas of "hidden pavement" that may confuse a driver as to the direction of the route ahead or small depressions that may hide a vehicle momentarily in a potentially hazardous overtaking situation • The general need for provision of guardrails at embankments and steep side slopes 	
<p>Roadway Layout Features Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The general alignment geometry, particularly in respect to sight distance • The width of roadways (number of lanes), shoulder parking lane width, widths of median and dividers, and the size of traffic islands • The logic and "clarity" of the layout of channelizing islands and medians at intersections, as seen from a driver's perspective • The provision of appropriate clearances and offset at the approach noses of traffic islands, medians, and other dividers • The type of kerb being constructed (e.g., the incorrect use of barrier kerbs) • The alignment of tapers into and out of auxiliary lanes and the avoidance of "trap" lane situations • The location and treatment of pedestrian walkways and standing areas 	

Checklist		Comment
<p>Traffic Signing and Road Marking</p> <p>Traffic Signs</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The overall traffic signing strategy on the plans and on-site • Regulatory and warning sign provisions and placement • Type, size (letter height), amount, and arrangement of legend on traffic signs and the adequacy of their legibility distance • Types of reflective sheeting, colors, grade, etc. on traffic signs • The correct positioning of direction and other guide signs • Obstruction to the visibility of traffic signs by other road furniture items • The obstruction of essential sight lines by poorly located traffic signs • The mounting structure of traffic signs (do not create a roadside hazard) • General structural adequacy of traffic signs mounted over the roadway • The need for protection of gantry columns with guardrailing • The adequacy of the mounting height of traffic signs • The adequacy of clearance under traffic signboards, particularly where mounted over footpaths and the avoidance of sharp edges or corners that could be a danger to pedestrians, pedal cyclists, or motorcyclists • The need for provision of and arrangement of external lighting for "overhead" signs 		
<p>Road Marking</p> <p>Review the type, location, and arrangement of road markings, both on onstruction plans and during site inspections.</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correct use of the different types of lines to designate (to road users) the required traffic management requirements at particular locations • Appropriate positioning of stop/give way lines at intersections • The existence of "trap" lanes and discontinuity of "through" traffic lanes, and where unavoidable, the provision of appropriate warning and guide signing • The provision of raised retro-reflective pavement markers (or road studs), where considered necessary for safe traffic operation • The correct provision of "arrow" pavement markings, required to designate traffic lanes that are restricted to particular traffic movements 		

Checklist		Comment
<p>Roadside Safety Features</p> <p>Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The provision of guardrail or other barrier at hazardous fixed roadside hazards • The type of guardrail or barrier, and the adequacy of its length in relation to the length of the hazard • Structural adequacy of the guardrail, e.g., height of the railing, post spacing, rail overlap, etc. • Location of the guardrail or barrier relative to the hazard, e.g., clearance allowed for deflection during an impact • Treatment of the approach end of a guardrail or barrier, end anchorage, etc. • The type of bridge barrier or railing system appropriate to the situation and that allows no horizontal rails to protrude beyond the end posts • The need for higher-than-normal barrier height on bridges over or close beside a busy roadway below and that the type and height of the railing are adequate to restrain a vehicle from going over the top • The treatment of the approaches to bridges, to ensure that the hazard caused by the approach ends of the bridge are treated with approach guardrail properly transitioned into, and strongly anchored to the rigid bridge railing system • The avoidance of kerbs directly in front of barrier or guardrail systems, or where it is unavoidable, the position of kerb relative to the face of the barrier or guardrail • The type of median barrier, where applicable, and the treatment of its ends • The provision and treatment of guardrail or barrier at fixed hazards such as rigid posts, poles, or bridge piers located in a narrow median or road divider • The correct treatment of lighting poles placed within a median barrier • The treatment of other narrow isolated hazards such as bridge piers and overhead sign gantry columns within the "clear zone" • Measures ensuring that the item cannot be relocated out of the hazardous area • Guardrail protection of the item • The provision of a suitable "impact attenuator" or "crash cushion" to reduce the severity of likely impacts • The treatment of culvert ends and "end walls" and other drainage structures, including deep monsoon drains, that they do not create hazards within the "clear zone" 		

Checklist		Comment
<p>Landscaping Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Trees and other plantations or landscaping features obstructing sightlines <ul style="list-style-type: none"> – Stopping sight distance or overtaking sight distance (where applicable), particularly across the inside of curves – Sight lines to the "exit" nose and at "entry" at expressway and other interchanges, particularly where the approach to them is on the inside of curved alignment – Various sight distance criteria at intersections, including signalized intersections and roundabouts ♦ The sight line across a median, required by the drivers of vehicles making a "right turn" at an intersection or a "U" turn median opening for this purpose ♦ Sight lines between pedestrians and vehicular traffic, where pedestrians are expected to cross a roadway at a grade, whether signalized or not ♦ Sight lines of vehicle drivers (including motorcyclists and pedal cyclists) to traffic signals and traffic signs ♦ Trees and landscaping as potential roadside hazard ♦ The species of trees and the expected "mature" trunk size of trees planted within the "clear zone" ♦ Effect of trees on street lighting ♦ The positioning of trees relative to the lighting poles, their expected canopy height and spread of foliage relative to mounting height of the luminaire and its "outreach" <p>Other Effects Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Foliage likely to overhang the traffic lanes and infringe the vertical and horizontal clearances for large high vehicles ♦ Planting of large trees too close behind semirigid guardrail such as "W" beam and flexible systems such as "wire rope" types, allowing insufficient clearance for the expected deflection of the barrier during an impact 		

**ROAD SAFETY AUDIT — STAGE 5
AUDIT OF EXISTING ROADS**

Checklist	Comment
<p>Vertical and Horizontal Alignment</p> <ul style="list-style-type: none"> • General alignment standard <ul style="list-style-type: none"> – Check for consistency throughout the route, note any location where alignment standard changes abruptly and is not as expected by drivers • Substandard curves <ul style="list-style-type: none"> – Identify any curve with a speed value of more than 10 kilometers (km)/hour (h) below the 85th percentile approach speed; note any evidence of vehicles running off the roadway • Inadequate sight distance <ul style="list-style-type: none"> – Check and record any location with inadequate stopping sight distance – Check and record any location with inadequate overtaking sight distance at which "double lines" have been marked 	
<p>Cross-Section</p> <ul style="list-style-type: none"> • Note any location where the cross-section standard changes abruptly along the route, or is otherwise inconsistent with driver expectations • Identify any locations where the capacity of the roadway is restricted • Note locations of regular traffic congestion • Note any absence of provisions protecting "turning vehicles" at intersections • Note any locations with inadequate shoulder width; check that the correct type of kerb has been used and note any location where speeds are greater than 50 km/h and "barrier kerb" has been used • Check that the cross-section provides adequately for "vulnerable road users" <ul style="list-style-type: none"> – Pedestrians—have paved footpaths, adequate refuge width on median and islands, and proper ramps up and down kerbs, where there is regular pedestrian traffic – Bicyclists—segregated areas (e.g., paved shoulders) where numbers are significant – Motorcyclists—segregated lanes (paved shoulders), separate roadways, where warranted by demand • Lack of access control—Identify any location where the cross-section does not allow the development of appropriate access control 	
<p>Intersections</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sight distances <ul style="list-style-type: none"> – Check that the sight distances are appropriate for speed limits – Approach (stopping) sight distance – Entering sight distance – Safe intersection sight distance 	

Checklist		Comment
<p>General Layout Features Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That the general layout of the intersection caters safely for all road users (pedestrian, bicycles, motorcycles) • That the layout is logical for various traffic movements, that it correctly favors the major traffic movement • For any lack of auxiliary (turning) lanes • For any discontinuity of "through" traffic lanes • For any instance where "through" vehicles have to change lanes to continue on through an intersection • For the occurrence of "trap" lanes, i.e., where a "through" lane is suddenly marked, or aligned, as a lane for traffic turning off a roadway • Any location where the length and width of the "right turn" merge is substandard and instances where pedestrian movements across the continuous traffic flow movement are not properly catered for • For operational problems at roundabouts, e.g., inadequate deflection (and speed reduction) of traffic at entry point, high vehicle speeds within the roundabout, inadequate width of entry or circulating roadway, etc. • For situations where channelization islands are too small to be easily seen by drivers, or for pedestrian refuge or for protecting traffic signs, signals, and other road furniture • That barrier kerbs are not used where traffic speeds are likely to be greater than 50 km/h 		
<p>Expressway and Other Interchanges Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That interchanges are appropriately located (e.g., at the important roads), properly spaced, and suit a logical traffic management strategy for the region • For situations/problems associated with the incompatibility of mixing at-grade intersections and interchanges on the same route • That appropriate and consistent standards of layout geometry exist at exit and entry ramps • Locations where the provision of auxiliary lanes is inadequate or otherwise inappropriate, e.g., where two-lane exits are not preceded by at least 300 meters (m) of auxiliary lane and two-lane entry ramps are not followed by at least 500 m of auxiliary lanes • The "start" and "end" tapers of auxiliary lanes and note any instance where "through" traffic may lead inadvertently into auxiliary lanes • For any location where the ramp alignment and length are inconsistent with the speed of traffic entering the ramp, bearing in mind deceleration requirements, and likely queuing of vehicles at the ramp intersection • For any deficiency in sight distance requirements at entry and exit points 		

Checklist		Comment
<p>Traffic Signal Installations Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That traffic signals are provided only where warranted for safe, efficient, and equitable management of traffic flow along and across arterial roads and for the safe crossing of pedestrians • That the provision, location, and spacing of traffic signals reflect a sensible traffic management strategy along the route • That signals installed are operating effectively and efficiently • For any location where there is inadequate signal hardware (signal faces, etc.) to safely control various traffic movements, bearing in mind the need for some redundancy to cater for failed light globes, etc. • That the signal hardware and phasing provides adequately for pedestrians; specific signal faces and phasing should always be provided for pedestrians in urban and other "built-up" areas • The positioning and visibility of signal faces and record instances where visibility of signals is obstructed by tree foliage, traffic signs, etc., or where approach roadways are more than three lanes wide, overhead signal faces are not provided 		
<p>Street Lighting Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • That street lighting is provided on arterial roads and highways in cities, towns, and other "built-up" areas, particularly where there are pedestrians and parking along the road • That where lighting is installed, it is of an appropriate standard, consistent with the needs of the location, pedestrians, and other factors • Locations where the street lighting poles constitute a hazard to traffic, e.g., on small islands, noses of medians, on the outside of sharp curves, etc. • For situations where street lighting poles could be eliminated by joint sharing of traffic signal pedestals and electric power poles • That the arrangement of street lights enhances "route guidance" rather than confuse the driver's ability to "see the direction of the route ahead" 		
<p>Traffic Signing</p> <p>General aspects Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • For cases of unauthorized traffic signs and use of nonstandard signs (color and shape) • The location and spacing of signs and note locations where there are too many signs, or the signs are too close together • That traffic signs are clearly visible and are prominently displayed to the intended road users 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> ♦ For instances where the legibility of the information on traffic signs is inadequate, bearing in mind the speed of vehicles and the amount of information displayed ♦ For instances where signs contain too much information to be capable of being read by drivers traveling at normal operating speed ♦ The effectiveness of traffic signs by observing them at night and identifying any lack of reflectorization ♦ The type of signposts used and record situations where sign posts constitute a fixed roadside hazard or where the use of frangible signposts should be considered ♦ For cases where there is a lack of clearance to traffic signs ♦ For situations where traffic signs themselves are obstructing essential "lines of sight" for drivers and pedestrians 		
<p>Regulatory and Warning Signs Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ That the appropriate regulatory signs are provided where necessary ♦ That warning signs have been used only where they are warranted 		
<p>Guide and Direction Signs Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ That guide and direction signing has been done on a systematic route or regional strategy, that it is logical and meets needs of unfamiliar drivers ♦ That all important intersections are provided with <ul style="list-style-type: none"> - Advance direction signs - Intersection direction signs - Reassurance (distance) signs ♦ That these signs are correctly positioned to allow the required action to be taken by the intended drivers ♦ For instances where there are inconsistencies in destination names on consecutive signs, e.g., on "advance direction signs" followed by "intersection direction signs," followed by "reassurance direction signs" ♦ For any lack of providing "road names" on direction signs, particularly in urban areas, and "route numbers" ♦ For instances of poor legibility and poor arrangement of information on signs 		
<p>Pavement Marking Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ The general adequacy and visibility of pavement marking, both at night and in wet weather 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> • That the correct type of line marking has been used in the various situations, e.g., "continuity lines" at merge and diverge sections, "double (barrier) lines" where overtaking is to be prohibited, etc. • For any discontinuities in "through traffic lane" marking and the existence of any "trap" lanes • For any deficiency in the delineation of merge and diverge areas, including situations where through traffic may inadvertently lead into auxiliary and turn lanes • For locations where there is a lack of "hazard marking" at approach ends of islands and medians, etc. • For locations where auxiliary "turn lanes" have been designated with appropriate pavement arrows and locations where the wrong type of arrow has been used • For locations where pavement arrows and other markings are confusing to drivers, particularly where "old incorrect" markings have not been properly removed • That the positioning of "stop" lines and "holding" lines are appropriate • The justification for any "yellow bar" marking and record locations where it is inappropriately used (such markings should be rarely used) • The effectiveness of road markings at night and in wet weather, consider the need for retro-reflective pavement markers or road studs to supplement line and hazard markings; identify inadequate provision of these devices and in the use of nonstandard arrangements of them 		
<p>Roadside Safety and Landscaping Check</p> <ul style="list-style-type: none"> • The "clear zone width" generally available along both sides of the road, and comment on this aspect in the RSA report • The "fixed roadside objects" that occur within the "clear zone width" and comment on the need to treat them in the interests of road safety • The provision of guardrail along the road, consider whether it is really justified and identify locations where it is not justified and locations where it has not been provided where it is warranted • That the correct treatment has been applied to the ends of guardrail sections, including "soft" end treatments, end anchorage, and approach end flaring • For the adequacy of "bridge railing" systems on all bridges. Take particular note of inadequate railings that will not restrain an impacting vehicle—this is often the case with bridges 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> ♦ The treatment of "approach guardrail" to bridges; record situations, where there is no "strong" anchorage of the approach guardrail to the bridge railing system and/or no proper transition of the rigidity of flexible or semirigid approach guardrail as it approaches and meets the rigid bridge railing ♦ That ends of median barriers are properly treated to reduce the severity of possible end collisions; identify the need for "crash cushions" or other impact attenuation devices ♦ The extent to which trees and other vegetation obstruct driver and pedestrian sight lines, which are essential for safe traffic operation ♦ The existence of poles of various kinds along the road and comment on whether some or many can be removed, relocated to less hazardous positions, or (in the case of street lighting poles) made "frangible" ♦ The degree of hazard associated with large trees, boulders, etc. and whether these can be treated to improve roadside safety 		
<p>General Traffic Management Items Check</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ To see what, if any, special provisions have been made for motorcycles and comment on the need for the provision of such improvements as "paved shoulders," "segregated motorcycle lanes," or "separated motorcycle roadways" in accordance with any adopted warrants, guides, and practices ♦ The degree of safety afforded to pedestrians, particularly school children, and record instances where there is a need for special provisions to be made ♦ The adequacy and credibility of existing speed limits and comment if they are not appropriate to the traffic situation and the nature of abutting development or are otherwise unrealistic in the view of most motorists ♦ The effectiveness of speed limit signing: consider the need for more prominent signing of the start of "restricted" speed zones and for "reminder signs" within the speed zone, particularly near intersections where large numbers of vehicles enter the road in question from side roads ♦ Substandard curves and low speed curved sections of the road; consider the need for "positive" advice to motorists about the safe travel speed and consider the need for "advisory curve speed" signing ♦ The need at substandard curves, for other delineation improvements such as the provision of "guide post" delineation, the placement of "chevron alignment" signs, and the use of retro-reflective road studs 		

Checklist		Comment
<ul style="list-style-type: none"> ♦ The degree of safety afforded to all road users in town centers, particularly where highways pass through shopping centers or near schools, record the need for "traffic calming" techniques to improve safety in these sensitive locations ♦ The availability of overtaking opportunities along the route as a whole and comment on the need of specific "overtaking lanes" at regular intervals along two-lane undivided roads, particularly where traffic flows are high in hilly terrain ♦ Consider the need for rest areas and other roadside stopping places, e.g., truck stops, scenic viewpoints, wayside picnic areas, etc., and note any current "unofficial" places where vehicles stop and the degree of hazard that this involves ♦ The existence of roadside stalls and other roadside business activities within the "right of way" of the road; comment on the relative safety of these and the possible need for formal parking arrangements and other regulatory controls ♦ The safety of bus stop locations and provisions for buses to stand clear of traffic lanes; also the need for a street light at these locations for the security and safety of bus patrons ♦ For any special problems and requirements that may be necessary to improve safety during "festive season" and holiday periods, when traffic demands are heavy and most drivers are relatively unfamiliar with the road 		

H. Anexo 8: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales

Sección 255.) MUROS DE TIERRA ARMADA

Descripción

255.01 Este trabajo consiste en la construcción de muros de tierra estabilizada por medios mecánicos (tierra armada).

Materiales

255.02 De conformidad con las siguientes Secciones y Subsecciones:

Capa niveladora de concreto hidráulico	601
Tela geotextil tipo IV	714.01
Tierra estabilizada por medios mecánicos	720.01
Relleno con material granular selecto	704.10
Relleno estructural	704.04

Requerimientos para la construcción

255.03 General. Se deberá hacer el levantamiento topográfico del sitio de las obras de acuerdo con la Sección 152 y se verificarán los linderos del muro a construir. Se prepararán y remitirán los planos de construcción de acuerdo con la Subsección 104.03. Se desarrollarán los trabajos de acuerdo con la Sección 209. Se construirá una fundación con un ancho en exceso de 0.50 m respecto a la longitud de la malla de refuerzo. Cuando el muro sea soportado por una fundación rocosa, se deberá colocar un espesor de 150 mm de relleno con material granular selecto de previo a la colocación de la malla de refuerzo. Hacer esta referencia en Subsección 704.10.

En los muros revestidos con concreto hidráulico, se deberá proveer una capa niveladora de concreto hidráulico reforzado o no reforzado colado en sitio, sobre las caras de la plataforma a recubrir, de acuerdo con el criterio del Contratante. Las capas niveladoras de concreto hidráulico coladas en sitio deberán ser curadas por un periodo de al menos 12 horas de previo a la colocación de los paneles de muro.

255.04 Construcción de muros de tierra armada. Los muros serán construidos de acuerdo con los planos constructivos y las recomendaciones técnicas aprobadas por el Contratante. Cuando el Contratante lo disponga en el contrato, se requerirá la supervisión de un profesional con una amplia experiencia en la construcción de muros de tierra armada.

(a) Muros con paredes de concreto hidráulico. Se colocarán los paneles de muro a través de los medios aprobados por el Contratante. Los paneles

de muro serán alineados en el sentido vertical y horizontal con una precisión de 19 mm y por medio de un codal recto de 3 metros.

Los anchos de junta serán de 19 ± 6 mm. Las juntas serán preparadas e instaladas de acuerdo con los planos constructivos. Las juntas en los reversos de los paneles de pared deberán ser cubiertas con bandas de tela geotextil de 300 mm de ancho; bandas adyacentes de telas geotextiles serán traslapadas en un ancho mínimo de 100 mm.

Los paneles serán mantenidos en su posición, durante las operaciones de relleno y nivelación, mediante cuñas o riostras temporales autorizados por el Contratante. Se construirán los muros de manera que la tolerancia vertical (de la superficie a la base) no exceda la relación de 13 mm por cada 3 m de altura.

(b) Muros con paredes alambradas. Se colocarán capas de soporte y mallas de alambre de 6 mm en colocaciones sucesivas horizontales, conforme avanzan los trabajos de relleno. Se conectarán, tensarán y anclarán elementos de refuerzo en las caras del muro, antes del relleno. No deberán excederse las tolerancias verticales para la colocación de incrementos individuales que defina el Contratante y deberá respetarse una tolerancia vertical total (de la superficie a la base) de menos de 25 mm por cada 3 m de altura. Se colocarán elementos de refuerzo dentro de un margen de 25 mm medidos verticalmente sobre el nivel de conexión del relleno con las paredes alambradas. No podrán haber desviaciones en ningún punto sobre el muro de más de 50 mm respecto a un codal recto de 3 m colocado de forma horizontal sobre el plano teórico de diseño para las caras de las paredes.

(c) Muros con paredes de gaviones. Se colocará una capa de relleno antes de la colocación de la primera hilera de gaviones. Los gaviones serán construidos de conformidad con la Sección 253. Se colocarán las mallas de refuerzo de manera horizontal sobre las capas de relleno compactado, y de manera perpendicular a las caras de las paredes del muro. Se conectarán los gaviones adyacentes a las mallas de refuerzo con amarres de acero, o por el medio definido por el Contratante, en espaciamiento nominal de 100 mm, alternado uniones simples y dobles. Se tensará y anclará la malla de refuerzo antes de la colocación de relleno adicional.

255.05 Relleno. El volumen estabilizado será ocupado por un relleno de material granular selecto, de acuerdo con la Subsección 209.10. Deberá asegurarse que no existan cavidades por debajo de las mallas de refuerzo. Cada capa será compactada de conformidad con la Subsección 209.11, excepto en lo referente al equipo requerido, el cual deberá ser aceptado de previo por el Contratante, y deberá ser un compactador liviano mecánico o vibratorio, el cual será operado

hasta una distancia de 1 m de la cara de la pared. En zonas donde el volumen estabilizado soporte elementos estructurales, deberá compactarse el espesor superior, hasta 1.5 m, al 100 % de la densidad máxima correspondiente.

No deberán aplicarse operaciones constructivas que puedan dañar o disturbar los elementos de paredes o mallas de refuerzo. No deberá operarse ningún equipo directamente sobre la superficie de las mallas de refuerzo. Se deberán corregir todos los elementos del muro que sufran algún daño, distorsión o con un incorrecto alineamiento.

Se deberá rellenar y compactar la superficie del volumen estabilizado con relleno estructural, de acuerdo con la Subsección 209.10. Al final de cada día de labores, el material adyacente a las paredes del muro correspondiente a la última capa de relleno colocada deberá dejarse con una inclinación hacia afuera, a fin de que el agua superficial se aleje del muro en dirección opuesta a las paredes, con el propósito de protegerlas de la contaminación con material del relleno.

No deberá permitirse, bajo ninguna circunstancia, la contaminación del área de construcción de las paredes del muro con material de relleno por escorrentía superficial.

255.06 Aceptación. El material para muros de tierra armada listado en la Subsección 720.01 será evaluado de conformidad con las Subsecciones 107.02 y 107.03. Deberá suministrarse un certificado de producción con cada embarque de paneles para paredes de concreto hidráulico.

La construcción de muros de tierra armada y los trabajos conexos serán evaluados de acuerdo con las Subsecciones 107.02 y 107.04.

Las evaluaciones del sitio de las obras serán de conformidad con la Sección 152.

La tela geotextil será evaluada de acuerdo con la Sección 207.

La excavación, relleno con material granular selecto y el relleno estructural serán evaluados según la Sección 209. Véase la Tabla 209-1 para requisitos mínimos de muestreo y ensayo.

Los gaviones serán evaluados de acuerdo con la Sección 253.

La capa niveladora de concreto hidráulico será evaluada según la Sección 601.

Medición

255.07 Se medirán los muros de tierra armada por metro cuadrado en la pared frontal.

Se medirá el material de relleno granular selecto en el volumen estabilizado por metro cúbico colocado y compactado.

Se medirá la capa niveladora de concreto hidráulico por metro lineal.

Se medirá el relleno de fundación de acuerdo con la Sección 208.

Pago

255.08 Las cantidades aceptadas, medidas de acuerdo con la Subsección 255.07, serán pagadas según el precio de contrato, por unidad de medida, para los renglones de pago indicados en los términos del contrato. El pago será la compensación para los trabajos descritos en esta Sección. Véase la Subsección 110.05.

El pago se realizará de acuerdo con:

Renglón de Pago	Unidad de medición
25501 Muro de tierra armada	Metro cuadrado
25502 Relleno con material granular selecto	Metro cúbico
25503 Capa niveladora de concreto hidráulico (deberá indicarse el espesor en metros)	Metro lineal

I. Anexo9: Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras – Capítulo C.8 al C.12

C.8 Cortes y Rellenos o Terraplenes

Los impactos relacionados con esta actividad, tienen que ver principalmente con:

- Emisiones de ruido, gases y partículas a la atmósfera causados por la maquinaria y su tránsito por zonas aún descapotadas;
- Cambios en el patrón de drenaje de la zona;
- Aporte de sedimentos a cuerpos de agua;
- Afectación de predios aledaños por préstamos laterales;
- Alteraciones en el nivel freático, y su efecto fundamental como barrera al flujo de drenajes naturales;
- Afectación de humedales;
- Fragmentación de hábitats; y
- Alteraciones en el paisaje.

C.8.1 La tierra vegetal que fuese encontrada tanto en las áreas de corte como en las de relleno, deberá ser retirada, transportada y apilada en los lugares seleccionados para tal propósito.

C.8.2 Se minimizará la circulación de maquinaria pesada en terrenos dedicados a la agricultura, para evitar que los suelos resulten compactados y sufran merma de su potencial agrícola.

C.8.3 Previo a la construcción de un terraplén y donde necesariamente se requiera la utilización de préstamo lateral para la conformación del mismo, se deberán seleccionar los sitios más adecuados para esta actividad, teniendo en cuenta

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

aspectos de requerimientos técnicos y de menor susceptibilidad al daño ambiental, con miras a minimizar los efectos producidos por el préstamo lateral de material.

- C.8.4 Para evitar el empantanamiento casi permanente que se origina en el área aledaña al terraplén como producto de los préstamos laterales, se tendrá que disponer de alguna obra de drenaje que mitigue esta situación, como filtros longitudinales y cunetas, que conduzcan las aguas hacia drenajes naturales, de esta manera se evitará la propagación de vectores de enfermedades y se atenuará el impacto ambiental, particularmente en la mejora de la armonía estética del paisaje.
- C.8.5 Con el fin de controlar posibles procesos erosivos se deberán empastar o engramar los taludes del terraplén con el material de descapote previamente acumulado y se favorecerá el crecimiento de especies arbustivas de bajo porte sobre la zona de préstamo, esto con el fin de mejorar las condiciones ambientales y el recurso paisajístico. En caso que no se disponga del material adecuado, se procederá a sembrar semilla o estolones de grama, previamente seleccionada y aprobada.

C.9 Secciones Típicas para Excavación en Roca

- C.9.1 Los taludes en los que se encuentran formaciones de gran altura de roca sólida y masiva, sedimento bien cementado o depósitos volcánicos soldados (tobas o lapillis bien consolidados) deben estabilizarse en cortes de $\frac{1}{4}:1$ a $\frac{1}{2}:1$ (horizontal: vertical), o hasta casi vertical. Las excavaciones de grandes alturas deberán ser construidas con plataformas de 3-5 metros de ancho y de 5-12 metros de alto.
- C.9.2 El geólogo que realice la inspección deberá de tomar en cuenta en sus recomendaciones, la estructura de la roca local o los ángulos de los buzamientos (planos de estratificación de la roca), los que por lo general indican el ángulo estable de la ladera. En los taludes de roca fracturada o erosionada, las excavaciones deberán ser hechas en laderas con cortes de $\frac{1}{2}:1$ a un $\frac{3}{4}:1$.
- C.9.3 Cuando se trate de taludes en roca quebrada o suelta, dependiendo de la gravedad del problema, se debe recurrir a mallas de alambre soldado de variados tipos, para contención y/o muros de contención o combinación de ambos, para que soporten la caída de bloques hacia la carretera.

C.10 Secciones Típicas para Excavación en Tierra

Esta es una de las actividades que más impacta los componentes ambientales del entorno. Las operaciones que incluyen los cortes para la conformación de la vía pueden afectar diversos elementos ambientales:

- Ruidos, emisiones de gases y partículas;
- Aporte de sedimentos a los cuerpos hídricos;
- Erosión hídrica superficial;

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

- Desestabilización de taludes y laderas naturales;
- Modificación de flujos de agua;
- Modificación de los patrones de drenaje;
- Alteración de zonas de recarga hídrica;
- Caída de material ladera abajo con arrasamiento y destrucción de vegetación, Sedimentación o colmatación de ríos y quebradas;
- Cambios en el uso del suelo;
- Alteraciones del nivel freático;
- Cambios en las propiedades físico-químicas del suelo;
- Ahuyentamiento y atropellamiento de fauna; y
- Destrucción de hábitats, alteración de la ictiofauna y calidad biótica de las aguas.
- Deterioro de la infraestructura existente;
- Afectación de predios aledaños;
- Incremento en el riesgo de accidentes;
- Afectación de sitios de interés arqueológico; y
- Cambios drásticos en el paisaje, entre otros.

En tal sentido se deberán atender las siguientes normas:

- C.10.1 Los cortes en la mayoría de suelos de hasta más o menos 10-15 metros de altura (excavación en tierra), deben estabilizarse con taludes de $\frac{3}{4}$:1 hasta un 1:1. En suelos sueltos, guijarrosos y arenosos se requerirá un corte de talud de 1:1 a $1^{1/2}$:1.
- C.10.2 Por ser las áreas húmedas y quebradizas o las zonas de fallamiento muy propensas a tener fallas, se requerirán taludes más planos (menos inclinados), de 2:1 a 3:1 para asegurar su estabilidad.
- C.10.3 El **Cuadro N° C.10.1** presenta los cortes de taludes típicos que deberán ser utilizados para una variedad de suelos, con algunas condiciones variantes. Sin embargo, no excluye la necesidad de realizar estudios de detalle que incluyan estabilizaciones con bioingeniería, muros de retención, combinados con geomallas o geotextiles y otras, donde se considere necesario. Se debe considerar la experiencia local para una pendiente estable.

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Cuadro N° C.10.1: Pendientes típicas de cortes en suelos (cortes hasta 10-12 m de altura) ⁶					
Suelo #	Descripción USC	Nivel de Agua Freática Bajo (debajo de la excavación)		Nivel de Agua Freática Alta, Filtración o Área Inestable	
		Suelto	Compactado	Suelto	Compactado
1.	Grava arenosa (GW, GP)	1 ½:1	¾:1	3:1	1 ¾:1
2.	Arena, granos angulares bien graduadas (SW)	1 ½:1	1:1	3:1	2:1
3.	Grava limosa (GM); arena uniforme (SP)	2:1	1 ½:1	4:1	3:1
4.	Arena limosa (SM); Arena arcillosa (SC)	1:1	¾:1	3:1	2 ½:1
5.	Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura	¾:1	¼:1	3:1	2 ½:1
6.	Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura	1:1	¾:1	4:1	3:1

Nota: Por cada cambio de 5% en la densidad del suelo, modifíquese la relación aproximadamente 5%.

C.11 Secciones Típicas para Construcción de Rellenos

C.11.1 El ángulo de inclinación para la mayoría de materiales utilizados para construir taludes de rellenos estables debe ser de 1 ½:1 (Horizontal:Vertical). Los rellenos de roca deberán ser estabilizados sobre inclinaciones con un ángulo hasta 1 1/3:1. Para lograr una buena estabilización vegetal en laderas. Los rellenos deben tener una relación de 2:1 o con una ladera más plana, especialmente para taludes menores de 3 metros de alto. **El Cuadro N° C.11.1**, presenta los ángulos recomendados para taludes de relleno de diversos materiales.

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Cuadro N° C.11.1 Pendientes Recomendadas para Taludes de Relleno de Diversos Materiales⁷		
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USC)	Talud Sin Agua Subterránea	Talud con Agua Subterránea
Roca Madre dura y angular	1.2:1	1.5:1
Grava arenosa GW	1.3:1	1.8:1
Arena, granos angulares bien graduadas GP, SW	1.5:1	2:1
Grava limosa, Arena uniforme GM, SP	1.8:1	3:1
Arena limosa, Arena arcillosa SM, SC ³	1.75:1 ó más plano	3:1
Limo arcillo arenoso, Arcilla con P.I. bajo ML	2:1 ó más plano	4:1
Limo arcillo arenoso ML	3:1 ó más plano	4:1

Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura
Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura

C.11.2 La compactación se debe realizar al momento de requerirse, para reducir al mínimo la falla de relleno y la cantidad de material que se erosiona de la superficie del mismo y los rellenos deben construirse en capas.

C.11.3 Los rellenos en laderas con pendientes mayores de 50-60 grados (111 % – 133 %) deben evitarse, para prevenir fallas en el fondo de los mismos. Si fuera necesario realizarlos en esas condiciones, se deben construir terrazas con una inclinación mayor de 20 grados (45%), en la ladera natural, antes de colocar el relleno.

C.11.4 La aplicación de un relleno reforzado es factible sobre una ladera y debe utilizarse porque éste ofrece una alternativa económica a estructuras de contención. Para evitar rellenos largos y estrechos sobre pendientes muy inclinadas o para reparar las fallas de rellenos, deben hacerse rellenos reforzados con una inclinación de 1:1 y utilizar algún tipo de geotextil o georejilla. Estos deben construirse con el refuerzo primario puesto en intervalos de 1-1.5 metros y un refuerzo intermedio puesto a lo largo de la cara cada 0.3 metros para prevenir asentamiento localizado. Las superficies de relleno reforzado deben utilizar paja o vegetación tipo gramíneas (pastos) y/o una malla para control de erosión.

C.11.5 Los terraplenes que tienen una inclinación mayor de 31.5 grados (70%), o un 1/3:1, que exceden el ángulo de reposo de la mayoría de los materiales o los

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

rellenos en áreas húmedas, deberán ser construidos en el fondo con materiales rocosos para asegurar un drenaje libre.

C.12 Secciones Típicas para Rellenos sobre Áreas Húmedas

C.12.1 El fondo de los rellenos que cruzan por áreas húmedas deberán ser construidos con materiales granulares, que ofrecen drenaje libre. También se debe considerar el uso de una capa filtrante de arena, colocada debajo del relleno y/o geotextiles.

C.12.2 La construcción de terraplenes en zonas pantanosas debe realizarse con el uso de geomallas y geotextiles, que proveen filtración, separación de materiales diferentes, refuerzo para soportar mayores cargas y grandes economías en excavación y acarreo de materiales.

J. Anexo10: Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras – Capitulo C.14

C.14 Medidas para Protección de Taludes

Entre las estructuras de retención de taludes más utilizadas están: muros de gravedad, muros de concreto reforzado, muros de gaviones, muros en tierra armada, pilotes, anclajes y materiales estabilizantes.

El escalonamiento de los taludes constituye una buena solución para su estabilidad; en suelos arcillosos éste busca transformar el talud original en una serie de taludes de menor altura, por lo tanto la huella de cada escalón debe ser suficientemente ancha como para que puedan funcionar prácticamente como taludes independientes. El escalonamiento se hace para obtener un abatimiento del talud, recoger materiales caídos y recolectar aguas superficiales. Los taludes escalonados se deberán complementar con engramado o revegetación en el cuerpo vertical (contrahuella) y reforestación o engramado en las terrazas. Las especies vegetales a utilizar en el proceso de reforestación y engramado deben ser nativas y de rápido crecimiento radicular y foliar; se recomienda la colocación de una capa vegetal de 20 cm de espesor compactada manualmente, además deberán construirse contracunetas.

- C.14.1 Las medidas para prevenir la erosión de los taludes deberán ser consideradas desde la etapa de diseño, mostradas en los planos e incluidas en las especificaciones técnicas ambientales; éstas cobran especial importancia desde el inicio del movimiento de tierras.
- C.14.2 Se podrán considerar algunas de las siguientes medidas para proteger y estabilizar taludes de suelo desnudo, dando la debida consideración a los costos de construcción respectivos:
- Protección con suelo vegetal
 - Protección temporal. Con cubiertas retenedoras de humedad -mulch- o con vegetación de rápido crecimiento.
 - Interceptar y desviar la escorrentía superficial con las obras de drenaje más adecuadas a cada sitio.
 - Redondeo de los taludes, recubrimiento con roca u otros métodos.
 - Terrazas. La construcción de terrazas requieren de una berma o sección nivelada entre las dos caras de talud.
 - Revestimiento con Plantas. Se alternan rocas incrustadas en el suelo con grava y plantas de raíces profundas.
 - Estructuras de Retención. Uso de gaviones o canastas de rocas, camas de madera entrelazada o vigas de concreto o madera, rellenas con material terrígeno o roca, o si no, otros tipos de barricadas de madera usualmente incrustadas contra el talud.
 - Muros de Mampostería.
 - Engramado.
 - Protección con Vegetación Arbustiva o Leñosa. Siembra de arbustos con raíces profundas, cobertura con ramas y estacas vivas y capas de ramas compactadas.
 - Estructura Estabilizadora del Flujo de Desagüe. Debe cumplir con el propósito de llevar el escurrimiento concentrado de alta velocidad hacia abajo, sin causar erosión.
 - Cámara de Sedimentación. Debe colectar y detener el escurrimiento para producir el asentamiento del sedimento.
 - Siembra de Vegetación en Suelo Desnudo. Debe lograr estabilizar el suelo, absorbiendo el impacto de la lluvia, reduciendo la velocidad de la escorrentía y facilitando la infiltración de la precipitación en el suelo.
 - Tratamiento Biotécnico o Muro de Roca con Arboles. Este deberá combinar la estabilidad física de una estructura con los beneficios del uso de vegetación.
 - Otras de efectividad técnica comprobada.
- C.14.3 Si las medidas de protección y estabilización de taludes, requieren el uso de materiales geosintéticos, tales como textiles, geomallas, membranas y otros, se podrán emplear en tareas que garanticen un drenaje subterráneo adecuado, refuerzo del suelo, control de erosión, o estabilización de la subrasante.

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

- C.14.4 Los drenajes naturales que tengan que ser interceptados por los cortes, deberán ser canalizados mediante estructuras escalonadas con el fin de proteger el talud y evitar erosión e inestabilidad en el mismo.
- C.14.5 Los taludes, una vez estén totalmente reconformados, deberán engramarse o revegetarse en el menor tiempo posible y cuando el tipo del terreno lo permita. Se deberán utilizar gramíneas de la región y especies que garanticen su fijación en la pared del talud.
- C.14.6 Cuando en las excavaciones se encuentren estructuras o remanentes arqueológicos, se deberán suspender las actividades que pudieran afectarlos; se solicitará a la autoridad competente, la vigilancia del sitio con el fin de evitar saqueos y se procederá a dar aviso inmediato a las autoridades pertinentes quienes evaluarán la situación y determinarán la manera sobre cuándo y cómo continuar con las obras de la vía.
- C.14.7 Cuando se requiera la utilización de explosivos para realizar excavaciones y cortes de taludes, se deberá contar con todos los mecanismos y procedimientos que garanticen la mínima afectación a los recursos naturales de la zona y a los pobladores de predios cercanos. El supervisor de la obra establecerá un manejo adecuado de los explosivos para prevenir y minimizar los daños que se puedan ocasionar al medio ambiente y al mismo tiempo evitar la remoción catastrófica e innecesaria de material.
- C.14.8 Se deberá engramar o arborizar las superficies de los taludes con especies vegetales adecuadas, con el fin de evitar daños por la acción de las aguas de lluvias, los vientos y el efecto de intemperismo. La vegetación cumple una función importante en el control erosivo de un talud: le da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces. Son recomendables las especies nativas y se ha comprobado que es más efectivo para defender los taludes, la plantación continua de pastos y plantas herbáceas.
- C.14.9 En casos especiales se deberá considerar el recubrimiento de taludes con concreto lanzado, con losas delgadas de concreto o riegos asfálticos, lo que facilita el escurrimiento superficial sin arrastre de partículas de suelo; en taludes rocosos altamente fracturados, estas medidas, protegen las vías de continuos desprendimientos; en general estos recubrimientos son medidas costosas y difíciles de aplicar a taludes grandes. Para zonas con exceso de aguas subterráneas, debe realizarse el drenaje por medio de drenes horizontales.
- C.14.10 Las zanjas en la corona o parte alta de un talud, deben ser utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando su paso por el talud. Las mismas no deben construirse paralelas al eje de la vía, ni muy cerca al borde del talud para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes; deben quedar ubicadas lo suficientemente distantes de las grietas de tensión en la corona del talud. Las zanjas deben quedar

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN
Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

completamente impermeabilizadas y con suficiente pendiente para garantizar una rápida evacuación del agua captada.

- C.14.11 Para manejar el flujo de las corrientes superficiales sobre el talud y los excedentes de agua sobre rellenos y laderas, hasta la entrega o disposición en el drenaje natural, con el fin de evitar la erosión, se deben diseñar estructuras de vertimiento cuyo propósito es el de disipar la energía de la corriente en pendientes fuertes. Entre las estructuras de este tipo se encuentran: caídas o rápidas escalonadas, con dientes o con salto.

K. Anexo 11: Entrevista con Ing. Amed Bautista

Información general:

Entrevistado: Ing. Amed Bautista

Ingeniero agrónomo (colegiado 600)

Lleva 22 años trabajando como consultor ambiental.

Fecha: 10 de septiembre de 2011

1. ¿Por qué se hace un Estudio de Impacto Ambiental (EIA)?

Existe una obligación legal. Para toda obra, proyecto, industria, etc. previo a realizarse la construcción es necesario elaborar un estudio de impacto ambiental hecho por expertos en el tema. Esto se puede ver en el Decreto 90-2000 – MARN y Artículo 8 del decreto 68-86. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, el cual es reformado por el decreto 1-93.

Si no se presenta, hay sanciones económicas según el decreto 1-93 (Q5,000 - Q100,000), penales (prisión de dos años en adelante) y posibles cierres del proyecto (paro mientras no se hace).

Ejemplo:

La Colonia San Jorge se hizo sin EIA por lo que se ordenó la demolición del proyecto; juzgado dictamina la orden.

Es importante tener clara la jerarquía normativa de leyes, la cual es como sigue (de mayor jerarquía a menor): Constitución Política de la República, decretos-leyes (emitidos por el congreso), acuerdos gubernativos (emitidos por el Presidente en consejo de ministros), acuerdos ministeriales (emitidos por ministros de estado) y reglamentos internos.

2. ¿Qué es un estudio de impacto ambiental?

Es un documento en el que se contemplan todos los impactos negativos y positivos que produce una obra, proyecto, actividad o industria al desarrollarla y dicta las medidas para prevenir, mitigar y cuáles no son mitigables.

Existe en la actualidad un reglamento, acuerdo gubernativo 431-2007: es inferior al 68-87. Se llama Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.

Es necesario para una persona que hace un estudio de impacto ambiental saber a detalle estos decretos.

3. Para carreteras, ¿cuáles son los términos de referencia para hacer un estudio de impacto ambiental de carreteras?

Primero el EIA contiene:

- Resumen sobre los resultados obtenidos del EIA
- Introducción
- Datos generales del proponente
- Personal que participó en el estudio (especialistas de cada una de las materias)
- Descripción general del proyecto
 - En qué consiste el proyecto: dimensiones, materiales, drenajes, señalización, recorridos, longitud, espesor de carpeta, mano de obra, fuente de agua potable, cómo se van a evacuar aguas negras de trabajadores, forma de trabajo de campamento, cómo se extraen los bancos de materiales, a dónde se van a trasladar la tierra de los cortes, entre otros.
 - Es en base a estas especificaciones que se determinan los impactos ambientales.
- Marco legal/jurídico: se especifica todo lo referente a las leyes y reglamento inherentes/aplicables al proyecto
- Capítulo sobre ambiente físico: se describe todo lo correspondiente al área donde se va a desarrollar el proyecto (geología, fisiografía, geomorfología, sismicidad, amenazas naturales)
- Capítulo sobre ambiente biótico: se describe toda la vida (flora, fauna, áreas susceptibles o frágiles, arqueología –si se encuentran restos de una civilización se debe parar la obra-)
- Capítulo socioeconómico y cultural: se describe la población, costumbres, densidad, vías de acceso, percepción de la población respecto al proyecto, interferencias a hábitos o costumbres debido a la construcción, posibilidad de generación de empleo, población económicamente activa, índices de empleo.
- Capítulo de selección de alternativas: se consideran las diferentes opciones que se tienen para construir.

Ejemplo: opción A tiene un trazo A, opción B tiene un trazo B. El ambientalista analiza las opciones (A y B) y sugiere alternativas que puedan ser más viables y que puedan generar menos impactos.
- Capítulo de identificación de impactos

Existen varios métodos para identificar impactos pero el más utilizado es la matriz modificada de Leopold. En esta matriz las columnas indican los factores ambientales (suelo, agua, atmósfera, paisaje, aspectos estéticos, aspectos socioeconómicos, aspectos culturales, entre otros) y en las filas se encuentran todas las actividades del proyecto. Se coloca una *x* si sí se relaciona y después el que hace el estudio según su criterio da una ponderación: 5 es un impacto severo, 4 es altamente significativo, 3 es medianamente significativo, 2 es significativo bajo y 1 no tiene impacto. Luego, se hace una selección de alternativas, y finalmente se describen los impactos.

Se hacen tres matrices, una para cada fase: construcción, operación y abandono.

 - Matriz de construcción

Se incluyen las siguientes actividades: movimiento de tierras, eliminación de vegetación (qué impacto va a tener, cómo se va a sustituir, efecto en agua superficial y subterránea), transporte de materiales, campamentos, generación de empleo, almacenamiento de combustible, etc.
 - Matriz de abandono

Abandono se refiere a que el proyecto no se termina o no se realiza, o que por falta de mantenimiento, fenómenos naturales, entre otros se abandona o se deja de utilizar.

Ejemplo: Carretera antigua de Escuintla – Puerto Quetzal.

- Plan de gestión ambiental: indica cuál será el proceso de gestión ambiental.
 - Gestión ambiental en construcción se refiere a las opciones que se puedan recurrir para la implementación de la construcción reduciendo impactos, proponiendo medidas de mitigación y monitoreo ambiental, el cual indica seguimientos.
 - Ejemplos de monitoreo:
 - Darle seguimiento al drenaje pluvial ya que provoca muchos problemas.
 - Limpiar cunetas.
 - Disipadores de energía en el momento de bajar para evitar erosiones.
 - Se pueden hacer durante y después de la construcción.
- Plan de contingencia: cuáles son los sustitutos en caso de una emergencia.
 - Ejemplo:
 - En el momento de perforar un cerro para la construcción de una carretera brota agua. Las medidas a tomar se deben indicar en el plan de contingencia.
- Capítulo de participación pública
 - Existen dos fases:
 - Informativa: informan a través de medios de comunicación al público de área de influencia del proyecto. Se deben hacer publicaciones en los idiomas del área.
 - Participativa: se hace directamente con las personas afectadas a través de seminarios, entrevistas, encuestas, mesas redondas, foros, etc.
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos
 - Documentación legal (copias legalizadas): nombramientos, patentes de comercio, sociedad, RTU, derechos de paso debidamente descritos en el Registro de Propiedad, entre otros.
 - Documentación de consultor: licencias, números de colegiados, etc.
 - Acta de declaración jurada del proponente y acta de declaración jurada del consultor, en donde el proponente se compromete a realizar todo lo que el EIA establece, y el consultor hace constar que todo es verídico.
 - Estudio de suelos
 - Estudios geológicos
 - Permisos para dinamitar, el cual se obtiene en el Ministerio de Defensa Nacional.
 - Planos
 - Plano de localización: establece las indicaciones de cómo llegar
 - Plano de ubicación: trazo del proyecto con sus diferentes colindantes
 - Para carreteras: planos del diseño de la carretera
 - Perfiles, cortes, geometría, señalización, drenajes
 - Procedimiento para sociabilización del proyecto (fase informativa y participativa).
 - Incluir encuestas (preferiblemente firmadas)

4. *¿Quién es comúnmente el responsable de la obra?*

El proponente es el responsable de la obra. Es quien ante el MARN firma de responsabilidad.

5. *¿Qué tipos de obras son las que producen impactos ambientales negativos más fuertes?*

Donde más se produce contaminación es con las plantas trituradoras y las de asfalto. Se necesita el permiso de Energía y Minas para el uso de combustible.

XXXIII. GLOSARIO

Aguas abajo	En una corriente de agua, sección que prosigue al punto o sección de interés o de estudio.
Ahuellamiento	Deterioro gradual de la superficie de un pavimento asfáltico, el cual se manifiesta como una ondulación bajo las bandas de circulación vehicular.
Autóctono	Se refiere a aquellos seres vivos que son propios del ecosistema en el que se hallan.
Bache	Falla en una estructura de pavimento caracterizada por un hoyo relativamente grande.
Bancos de préstamo	Lugares de explotación de materiales tales como balastro, arena, basaltos y cantos rodados.
Base	En una estructura de pavimento, es la capa justo debajo de la carpeta que absorbe la mayor parte de los esfuerzos verticales. En ocasiones se debe estabilizar con cemento o asfalto para ser lo suficientemente resistente a la deformación bajo las acciones del tráfico.
Biótico	Característico de los seres vivos o que está vinculado a ellos.
Botón	Brotos de plantas.
Bitumen	Material negro y viscoso que se origina de la descomposición de materia orgánica. Es comúnmente conocido como asfalto.
Buzamiento	Ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal, y debe ir acompañado por el sentido en el que el plano buza o baja.
Capa o carpeta de rodadura	Superficie de rodamiento que soporta directamente las sollicitaciones del tránsito, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Aporta las características funcionales y debe impedir el paso del agua. Puede estar constituida por varias capas, esta expuesta directamente al ambiente.
dBa	Decibeles ajustados (dBa) es el ruido medido en Db, la cual es una unidad de medida para medir una intensidad.

DBO, Demanda Bioquímica de Oxígeno	Parámetro cuya función es medir la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.
Demarcación	Proceso de señalar o marcar los límites de un terreno.
Desbroce	Extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable.
Descapote	Retiro de la capa de vegetal hasta una profundidad de 0.20 m.
Dique de tierra	Terraplén para evitar el paso del agua paralelo al curso de un río o al borde del mar.
Drenaje	Sistema que conduce el agua de lluvia a sitios para su aprovechamiento.
Ecozona	Grandes extensiones de la superficie terrestre donde las plantas y los animales se desarrollaron en relativo aislamiento durante largos períodos y estuvieron separados unos de otros físicamente por ciertas características geológicas, como océanos, grandes desiertos, altas montañas cordilleras, que formaron barreras a la migración de plantas y animales.
Edafológico	Referente a la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.
Elastómero	Polímero que presenta un comportamiento elástico.
Emulsión	Mezcla de líquidos inmiscibles de manera mas o menos homogénea. Un líquido (la fase dispersa) es despersado en otro (la fase continua o fase dispersante). En las emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Además se tiene el emulgente, que se aplica en la interface entre el asfalto y el agua y estabiliza la emulsión.
Especie nativa	Especie que pertenece a una región o ecosistema determinado.
Estudio de impacto ambiental (EIA)	Documento en el que se contemplan todos los impactos ambientales negativos y positivos que produce una obra, proyecto, actividad o industria al desarrollarla y dicta las medidas para prevenir, mitigar y cuáles no son mitigables.

EVA	Se refiere a una composición química que responde a un Etil - Vinil – Acetato.
Gestión de riesgo	Herramienta que complementa las actividades que reducen los efectos o resultados de los desastres que afectan la infraestructura vial y sus diversos componentes.
Hule asfáltico	Mezcla de cemento asfáltico, hule reciclado de neumáticos y ciertos aditivos, en donde el componente de hule es por lo menos 15% del peso total de la mezcla y ha reaccionado suficientemente en el cemento asfáltico caliente para causar hinchamiento de las partículas de hule.
Ictiofauna	Fauna que se encuentra debajo de la cobertura vegetal terrestre.
IRI, Índice de Regularidad Internacional	Parámetro que se utiliza para determinar la regularidad y comodidad en conducción en una carretera. Es comúnmente obtenido a través de la medición de perfiles longitudinales.
Lapilis	Término de clasificación de la tefra (fragmento de material volcánico) constituido por fragmentospiroclásticos, expulsados por un volcán durante la erupción y con un diámetro variable de 2 a 64 mm.
Ligante	Cemento asfáltico normal o modificado que aglutina las partículas formando una masa cohesiva, resistente e impermeable.
Lixiviación	Proceso mediante el cual el agua escurre hacia capas inferiores
Material pétreo	Piedras naturales, que pueden presentarse en forma de bloques, losetas y gránulos, i.e, pizarra, mármol o arena.
Muro de tierra armada	Muros de terreno (grava) en los que se introducen armaduras metálicas para resistir los movimientos.
PAMA	Programa de manejo ambiental (PAMA) es un programa en el que se indican cómo y cuándo se pondrán en práctica las medidas ambientales para mitigar impactos de riesgos y desastres.
Patógeno	Aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, ser humano o vegetal.
Pavimento articulado	Pavimento formado por una capa de rodadura arreglada con adoquines colocados sobre una capa de arena y sobre una base.

Pavimento asfáltico	Pavimento en donde la capa superficial o superior está construida con asfalto.
Pavimento flexible	Pavimento formado por una carpeta bituminosa apoyado en dos capas no rígidas, las cuales son una base y una subbase.
Pavimento rígido	Pavimento formado por losas de concreto simple o armado apoyadas directamente sobre una base o subbase.
Período de diseño	Tiempo para el cual se estima que un sistema funcionará sin presentar fallas mayores.
Plan de mitigación	Un estudio un poco más limitado, en el cual se analizan los impactos de la construcción.
Planta de tratamiento	Instalación donde a las aguas residuales se les retiran los contaminantes para consumo humano, recreación, etc.
Rasante	La cota que determina la elevación del terreno en cada punto; se distingue entre rasante natural del terreno, rasante de vía (eje de la calzada) o de acera, pudiendo ser existentes o proyectadas; por omisión se entenderá la rasante de la vía pública que establezca el planeamiento.
Reología	Estudio de la deformación y el fluir de la material. Algunas propiedades reológicas son viscosidad y coeficientes de esfuerzos normales.
SB	Se refiere a una composición química que responde a un Estireno - Butadieno.
SBS	Se refiere a una composición química que responde a un Estireno - Butadieno – Estireno.
SRB	Se refiere a una composición química que responde a un Estireno - Butadieno - Caucho (rubber).
Sello de emulsión	Aplicación de riego de emulsión asfáltica seguida de una ligera cubierta de agregado fino, tal como arena limpia (arena que pasa tamiz No. 8), que se puede utilizar para corregir varios problemas en pavimentos.
Señalización horizontal	Corresponde a la aplicación de marcas viales conformadas por símbolos que se pintan sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de

circulación o adyacentes a ellas para regular el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

Señalización vertical	Dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.
Serviciabilidad	Serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento.
Subbase	Capa justo debajo de la base que transmite los esfuerzos verticales a la capa subrasante. Puede constituir una capa drenante. En algunas ocasiones se puede omitir.
Superficie bituminosa	Se refiere a la parte de la carpeta formada por agregado y un adherente (asfalto - bitumen).
Talud	Pendiente en un muro en donde la parte más gruesa se encuentra en la parte inferior de modo que resiste la presión de la tierra tras él.
Tamiz	Instrumento que se emplea para separar materiales gruesos de otros más finos.
Troza	Sección de un árbol, perteneciente al fuste o tronco, con largos no mayores a 5 metros.
Vector (infeccioso)	Organismo que transmite un agente infeccioso o infestante desde los individuos afectados a otros que aún no portan ese agente.