



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PASOS DE FAUNA

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. CLAUDIA ADRIANA CANO GÓMEZ

DIRECTOR DE TESINA: **ING. PEDRO CORONA BALLESTEROS**

MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO

OCTUBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su apoyo constante y por la paciencia que me tuvieron a lo largo de mi vida estudiantil.

Doy gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y especialmente a la Facultad de Ingeniería por la formación académica que me ha brindado.

Así mismo agradezco al Departamento de Estudios y Proyectos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por permitirme tomar como referencia algunos proyectos de mitigación de impacto ambiental.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que confiaron en mí y que me motivaron a seguir adelante y a exigirme más.

ÍNDICE TEMÁTICO

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 OBJETIVO	9
1.2 ALCANCES	9
2 INTRODUCCIÓN	10
3 MARCO LEGAL	11
3.1 Permisos para el Aprovechamiento del Derecho de Vía	11
3.1.1 En carreteras federales y zonas aledañas	11
3.1.2 En caminos y puentes de cuota	12
3.1.2.1 Requisitos Generales	13
3.1.2.2 Requisitos particulares	15
3.1.2.2.1 Lineamientos generales	16
3.2 Permisos relacionados con monumentos históricos, artísticos y zonas arqueológicas	16
3.3 Legislación concerniente a la ejecución de las obras	19
4 MARCO TÉCNICO	20
4.1 Definición de Pasos de fauna	20
4.2 Justificación del uso de Pasos de fauna	20
4.2.1 Soluciones estructurales	23
4.2.2 Soluciones no estructurales	25
4.3 Situaciones en las que deben existir pasos de fauna	25
4.4 Ubicación de los pasos	26
4.5 Densidad de los pasos de fauna	27
4.6 Criterios de elección del tipo de estructura	28
4.7 Dimensiones	29
4.7.1 Pasos inferiores vehiculares (P.I.V)	30
4.7.2 Pasos Superiores Vehiculares (P.S.V)	31
4.8 Tipos de estructuras de pasos de fauna	32
4.8.1 ECODUCTO	32
4.8.2 PASO INFERIOR ESPECÍFICO PARA LA FAUNA	37
4.8.3 PASO INFERIOR MULTIFUNCIONAL	40
4.8.4 PASO ENTRE ÁRBOLES	42
4.8.5 VIADUCTO ADPATADO	45
4.8.6 PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA GRANDES MAMÍFEROS	48
4.8.7 PASO SUPERIOR MULTIFUNCIONAL	51
4.8.8 PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS	53

4.8.9 DRENAJE ADAPTADO PARA ANIMALES TERRESTRES _____	57
4.8.10 DRENAJE ADAPTADO PARA PECES _____	63
4.8.11 PASOS PARA ANFIBIOS _____	67
5 LOS PASOS DE FAUNA EN MÉXICO _____	70
5.1 Ampliación de la Carretera “Villahermosa-Escárcega” del km 123+300 al km 154+600 en los estados de Tabasco y Chiapas. _____	70
5.1.1 Antecedente Histórico _____	70
5.1.2 Características de los pasos colgantes para fauna silvestre en la carretera “Villahermosa-Escárcega” _____	73
5.2 Modernización de la carretera acceso a Calakmul _____	76
5.3 Modernización de la carretera San Pedro-Cuatrociénegas _____	77
5.3.1 Reductores de velocidad _____	79
5.3.2 Señalización _____	79
5.4 Ampliación del ancho de corona en la carretera Imuris-Agua Prieta _____	80
5.4.1 Adaptación de siete obras de drenaje transversal _____	83
5.4.2 Mantenimiento de drenajes existentes _____	84
5.4.3 Adaptación de cunetas y bordillos _____	84
5.4.4 Efectividad de los pasos _____	85
5.4.4.1 Registro de huellas y heces _____	85
5.4.4.2 Fototrampeo _____	86
5.4.4.3 Determinación de puntos críticos _____	86
5.5 Ampliación de la carretera “Manzanillo-Puerto Vallarta”, en el tramo “El Tuito- Melaque” del km 0+000 al km 116+300 y del km 148+330 al km 169+396. _____	87
5.5.1 Muestreo de presencia de fauna silvestre en el Sistema Ambiental Regional (SAR) _____	88
5.5.1.1 Cámaras-Trampa _____	88
5.5.1.2 Documentación del atropello actual en la carretera _____	90
5.5.2 Fauna potencial en el SAR _____	91
5.5.3 Ubicación de los pasos de fauna _____	93
5.5.4 Diseño de los pasos de fauna _____	93
5.5.5 Evaluación del desempeño de los pasos de fauna _____	96
5.5.5.1 Monitoreo del paso con Cámaras-trampa _____	96
5.5.5.2 Registro de huellas mediante trampas de arena. _____	96
5.5.5.3 Índice de atropello como parámetro de uso de pasos de fauna _____	96
6 CONCLUSIONES _____	98
7 RECOMENDACIONES _____	99
8 GLOSARIO _____	99
9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	101

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4-1 Densidades mínimas para la localización de pasos de fauna dependiendo el tipo de hábitat y del grupo de referencia.</i>	28
<i>Tabla 4-2 Resumen de dimensiones adecuadas para pasos de fauna superiores (Ref. 7)</i>	30
<i>Tabla 4-3 Resumen de dimensiones adecuadas para pasos de fauna superiores (Ref. 7)</i>	31
<i>Tabla 4-4 Dimensiones recomendadas en pasos para anfibios</i>	67

ÍNDICE DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 5-1 Número de atropellos registrados por individuo y por especie. Ref. 18</i>	90
<i>Gráfica 5-2 Especies de fauna con presencia potencial en el SAR, que se encuentran en alguna categorías de riesgo (P: Peligro de extinción; A: Amenazada y Pr: Protección Especial), según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Ref. 18</i>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 4-1 El incremento en la densidad de vías fragmenta hábitats en pequeños parches que crean cantidades desproporcionadas de hábitats de borde. Imagen: Iuell 2005.</i>	20
<i>Fig. 4-2 Tapir centroamericano (Tapirus bairdii)</i>	22
<i>Fig. 4-3 Comparación del tamaño de un tapir respecto a un ser humano.</i>	22
<i>Fig. 4-4 A la izquierda: cangrejo rojo (Gecarcinus lateralis). A la derecha: cangrejo azul (Cardisoma guanhumi)</i>	23
<i>Fig. 4-5 Ejemplos de señales preventivas que advierten el cruce frecuente de animales en las vías de transporte.</i>	24
<i>Fig. 4-6 Reflectores instalados en carreteras de Aragón, España.</i>	24
<i>Fig. 4-7 Venado intentando cruzar una autopista como resultado de la fragmentación de su hábitat.</i>	26
<i>Fig. 4-8 Tamaño de algunas especies de ungulados con relación a un automóvil tipo sedán.</i>	27
<i>Fig. 4-9 Largo y Ancho en un paso inferior (Ref. 7)</i>	30
<i>Fig. 4-10 Altura, largo y ancho en pasos superiores (Ref. 7)</i>	31
<i>Fig. 4-11 Ecoducto De Woeste Hoeve, Holanda. Autopista A50</i>	32
<i>Fig. 4-12 Posibles configuraciones en la forma del puente que compone el ecoducto (Ref. 7)</i>	32
<i>Fig. 4-13 Estructura y elementos necesarios en los laterales del puente del ecoducto (Ref. 7)</i>	33
<i>Fig. 4-14 Se observa que la base de los postes está enterrada y reforzada con concreto, al mismo tiempo que se muestra mayor densidad de malla en la parte inferior. La parte superior de los postes está inclinada hacia</i>	

<i>el exterior de la carretera y coronada con alambrado para evitar que grandes especies intenten pasar por encima (Ref. 7)</i>	34
<i>Fig. 4-15 Un ejemplo de lo que no se debe de hacer. La malla no está enterrada, por lo que algunas especies pueden evadirla pasando por debajo de ella. Foto: F. Navàs.</i>	34
<i>Fig. 4-16 Esquema general del cerramiento perimetral para grandes mamíferos (Ref. 7)</i>	35
<i>Fig. 4-17 Medición de la altura del vallado dependiendo si se instaló en A: en terraplén, B: terreno llano y C: En corte (Ref. 8)</i>	35
<i>Fig. 4-18 Ecoducto Red Earth en la Autopista Trans Canadá del Parque Nacional Banff de Alberta, Canadá. Foto: Andrew Evans, National Geographic Traveler</i>	36
<i>Fig. 4-19 Esquema general de un paso inferior específico para fauna (Ref. 7)</i>	37
<i>Fig. 4-20 Construcción de un paso inferior específico con pantallas opacas instaladas</i>	38
<i>Fig. 4-21 Incorrecta ejecución de una pantalla lateral. Foto: C. Rosell</i>	38
<i>Fig. 4-22 Paso situado en un terreno llano, con rampas de ligera pendiente. Foto: P. Farkas.</i>	39
<i>Fig. 4-23 Paso inferior específico para cangrejos en el Parque Nacional Christmas Island, en Australia.</i>	39
<i>Fig. 4-24 Puente situado sobre una línea de ferrocarril de alta velocidad cerca de Oberderdingen, Alemania. Foto: B. Georgii.</i>	40
<i>Fig. 4-25 Paso entre árboles en la Ruta del Sol del municipio Aguachica en César, Colombia.</i>	42
<i>Fig. 4-26 Estructura general de un paso sobre árboles.</i>	42
<i>Fig. 4-27 Paso compuesto por una plataforma de red suspendida mediante dos cables de acero (Ref. 8)</i>	43
<i>Fig. 4-28 Paso con plataforma firme.</i>	43
<i>Fig. 4-29 Ejemplos de adaptación de un panel de señalamiento. Dibujo: Ref. 8. Foto: H. Bekker</i>	44
<i>Fig. 4-30 Viaducto cuyo soporte son columnas delgadas que procuran invadir al mínimo el terreno natural.</i>	45
<i>Fig. 4-31 Este tipo de estructura es menos adecuada que un viaducto para el cruce de valles fluviales pues impiden la conectividad de los hábitats. (Ref. 7)</i>	46
<i>Fig. 4-32 Adaptación de taludes en los márgenes de un río que cruza bajo un viaducto (Ref. 8)</i>	46
<i>Fig. 4-33 Paso superior en Nairobi, Kenia.</i>	48
<i>Fig. 4-34 Diagrama de los elementos geométricos: ancho (A), longitud (L) y altura (H). Ref. 8</i>	48
<i>Fig. 4-35 Esquema general de un paso superior específico (Ref. 7)</i>	49
<i>Fig. 4-36 Incorrecta instalación de vallado: no se ha completado el cerramiento encima del paso, permitiendo el acceso de animales a los taludes. Foto: C. Rosell</i>	50
<i>Fig. 4-37 Restitución de un camino forestal compatible con el paso de fauna silvestre. Foto: B. Wandall.</i>	51
<i>Fig. 4-38 Paso superior multifuncional en falso túnel, de la empresa GINPROSA INGENIERÍA.</i>	52
<i>Fig. 4-39 Ejemplo de malas prácticas: En este caso la escollera dificulta el paso de fauna. Foto: F. Navàs.</i>	52
<i>Fig. 4-40 Paso superior para pequeños vertebrados. Foto: Llorente y Díez.</i>	53
<i>Fig. 4-41 Esquema general de un paso superior específico para pequeños vertebrados. (Ref. 7)</i>	54
<i>Fig. 4-42 Esquema general del vallado donde se destaca la presencia de malla de refuerzo para impedir el paso de pequeños vertebrados, adosada a la base de un cerramiento para grandes mamíferos. (Ref. 7)</i>	55
<i>Fig. 4-43 Instalación de un refuerzo en la parte exterior de la malla convencional. Foto: C. Rosell.</i>	55
<i>Fig. 4-44 Paso superior para pequeños vertebrados en el Parque Nacional de Doñana, Andalucía, España.</i>	56
<i>Fig. 4-45 Paso superior de estructura tubular, en Finlandia.</i>	56
<i>Fig. 4-46 Drenaje prefabricado en la Autopista A35 en Holanda, con plataformas laterales integradas que son utilizadas para el paso de pequeños animales. Foto: G. Veenbaas.</i>	57
<i>Fig. 4-47 Arreglo A: La estructura sólo cumple con la función de drenaje pero es ineficiente como paso de fauna pues carece de sectores secos para el desplazamiento de animales terrestres. (Ref. 8)</i>	58
<i>Fig. 4-48 Arreglo B. (Ref. 8)</i>	58
<i>Fig. 4-49 Arreglo C. (Ref. 8)</i>	58

Fig. 4-50 Arreglo D: con 2 alternativas de soporte para la plataforma lateral. (Ref. 8)	59
Fig. 4-51 Ejemplo de drenaje adaptado para paso de fauna. Nótese la comunicación de las plataformas con las rampas de acceso. Foto: C. Rosell.	59
Fig. 4-52 Diferentes alternativas de diseño para facilitar pasos secos en drenajes permanentemente inundados. (Ref. 8)	60
Fig. 4-53 Ejemplo 1 de malas prácticas: Falta de rampas que conecten las franjas secas con las zonas adyacentes. Foto: F. Navàs.	60
Fig. 4-54 Ejemplo 2 de malas prácticas: las paredes de la acequia dificultan el retorno de los animales al entorno. Foto: F. Navàs.	61
Fig. 4-55 Ejemplo 3 de malas prácticas: Bajante escalonado que constituye una trampa para la fauna. Foto: F. Navàs.	61
Fig. 4-56 Alcantarilla reconstruida en el Parque Nacional de Umpqua, Oregón, E. U.	63
Fig. 4-57 Ejemplo 1 de malas prácticas: El desnivel resulta ser una trampa para los peces. (Ref. 7)	64
Fig. 4-58 Ejemplo 2 de malas prácticas: la poca altura de la lámina de agua dificulta el remonte de los peces. (Ref. 7)	64
Fig. 4-59 Adecuada adaptación de un drenaje para paso de fauna acuática. (Ref. 7)	64
Fig. 4-60 Ejemplo 3 de malas prácticas: Este drenaje en Noruega tiene dos problemas simultáneos: Su salida tiene un nivel demasiado alto en relación al curso fluvial, dicho desnivel supone una barrera para los peces que se dirigen aguas arriba. El segundo problema es la baja altura de la lámina de agua, lo cual sugiere una trampa mortal para los peces que se dirigen aguas abajo. Foto: B. Luell	65
Fig. 4-61 Ejemplo 5 de malas prácticas: Escalón en el interior del drenaje que supone un obstáculo para el movimiento de fauna acuática. Foto: J. Dufek.	65
Fig. 4-62 Ejemplo 4 de malas prácticas: Drenajes situados en un badén que dificultan el paso de peces. Foto: F. Navàs.	65
Fig. 4-63 Paso rectangular para anfibios en Alemania con estructuras bien delimitadas. Foto: J. Niederstrasser.	67
Fig. 4-64 Estructura general de un paso superior para anfibios (Ref. 7)	68
Fig. 4-65 Ejemplo 1 de malas prácticas: Para el cercado de este tipo de pasos las mallas de alambre galvanizado no son aplicables porque los anfibios intentan trepar por ellas. Foto: R. Campeny.	68
Fig. 4-66 Ejemplo 2 de malas prácticas: Desajuste de la estructura guía y el acceso al paso para anfibios. Foto: C. Rosell.	69
Fig. 4-67 El terreno adyacente a la estructura guía se mantiene completamente liso y libre de vegetación. Foto: COST 341	69
Fig. 5-1 mono aullador o mono saraguato (Aloutta pigra)	70
Fig. 5-2 Monitoreo de pasos subviales tipo viaducto adaptado.	72
Fig. 5-3 Paso subvial tipo alcantarillo presente en el proyecto	72
Fig. 5-4 Paso aéreo y señalamiento dentro del proyecto de ampliación de la carretera "Villahermosa-Escárcega".	72
Fig. 5-5 Arreglo de postes. Ref. 14	73
Fig. 5-6 Vista en planta del paso respecto a la corona de la carretera. Ref. 14	74
Fig. 5-7 Vista en planta del andador trapezoidal. Ref. 14	74
Fig. 5-8 Arreglo de la malla ciclónica, cables de acero y andadores de comunicación. Ref. 14	74
Fig. 5-9 Vista de perfil del paso aéreo tipo puente colgante. Imagen: Ref. 14	75
Fig. 5-10 Monitoreo de la funcionalidad de los pasos, por medio de cámaras-trampa. Fotos: Ref. 14	75
Fig. 5-11 Ejemplo de obra de drenaje ubicada en el km 161+082.3 que posiblemente sea usada por fauna de talla inferior. Foto: Ref. 16	76

Fig. 5-12 Ejemplo de obra de drenaje conformada por 12 tubos, ubicada en el km 58+093 que podría ser reemplazada por una losa para facilitar el tránsito de fauna de talla inferior-mediana. Foto: Ref.16	77
Fig. 5-13 Estructura general del vibrador monolítico de concreto hidráulico simple con las dimensiones establecidas por la N-PRY-CAR-10-04-001. Ref. 15	79
Fig. 5-14 Señal vertical preventiva SP-41, indica proximidad a los vibradores monolíticos. Ref. 15	79
Fig. 5-15 Señalamiento preventivo acerca de la posibilidad de encontrar algunas especies en el tramo carretero. Ref. 15	80
Fig. 5-16 Señales restrictivas necesarias para la conservación del ecosistema de la región. Ref. 15	80
Fig. 5-17 Ubicación del proyecto. Ref. 17	81
Fig. 5-18 Caja ornamentada (Terrapene ornata)	81
Fig. 5-19 Jaguarundi (Herpailurus yagouarundi)	82
Fig. 5-20 Venado cola blanca (Odocoileus virginianus)	82
Fig. 5-21 Localización del proyecto y de los 7 pasos de fauna. Ref. 17	83
Fig. 5-22 Esquema general del proyecto en caso que se aceptara la adecuación del drenaje a paso inferior multifuncional de fauna. Ref. 17	84
Fig. 5-23 Ejemplos de cunetas que favorecen el acceso a anfibios, reptiles y micromamíferos al entorno	84
Fig. 5-24 Ejemplos de bordillos en rampa	85
Fig. 5-25 Huella de venado cola blanca. Fuente: Outfitters México	86
Fig. 5-26 Ubicación del Proyecto. Ref. 18	87
Fig. 5-27 Especies de fauna silvestre captadas por cámaras-trampa mientras utilizan las obras de drenaje de tipo bóveda como paso de fauna. Ref. 18	89
Fig. 5-28 Murciélagos encontrados en las bóvedas de las obras de drenaje. Ref. 18	90
Fig. 5-29 Exerodonta smaragdina. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref. 18	91
Fig. 5-30 Iguana iguana. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref. 18	91
Fig. 5-31 Boa constrictor imperator. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref. 18	91
Fig. 5-32 Crocodylus acutus. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref.18	91
Fig. 5-33 Icterus cucullatus. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref. 18	92
Fig. 5-34 Tlacuache (Didelphis virginiana). Foto: Grupo Selome S.A.de C.V. 2010. Ref. 18	92
Fig. 5-35 Esquema de losa plana sugerida para el proyecto. Ref. 18	93
Fig. 5-36 Esquema general de bóvedas. Ref. 18	94
Fig. 5-37 Plano del paso de fauna inferior (superclaro) que deberá ser construido en el cadenamiento 58+715. Ref. 18	95

PASOS DE FAUNA

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad son insuficientes los proyectos carreteros que cuenten con pasos de fauna como medida de mitigación de impacto ambiental. Esto se debe en gran parte a que en la Normativa Oficial no existe una exigencia para la construcción de pasos de fauna o en su defecto, la adecuación de estructuras como tales.

La Normativa que debería requerir la presencia de pasos de fauna en proyectos de infraestructura vial es:

- LEY DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS
- REGLAMENTO DE LA LEY DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS
- NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE
- MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS
- NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE SEMARNAT

La escasez de pasos de fauna nuestro país constituye una falta contra la sustentabilidad de la infraestructura vial terrestre y contra la seguridad vial de los usuarios.

1.1 OBJETIVO

Proporcionar información suficiente para incluir en la fase de diseño el proyecto de los Pasos de Fauna como medida de sustentabilidad en carreteras, autopistas y vías férreas, así mismo solicitar a la SCT la necesidad de considerar estos requerimientos en su Normativa. La construcción de los pasos de fauna representa una opción de preservación de especies endémicas (especialmente aquellas que se encuentran en peligro de extinción) cuyo ciclo de vida se ve afectado por la construcción de vías de comunicación.

1.2 ALCANCES

Desarrollar información referente a pasos de fauna desde la descripción de los permisos necesarios para su construcción, casos en los que se deben emplear, ventajas, desventajas y características técnicas y geométricas pero sin profundizar en detalles estructurales.

2 INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial genera beneficios sociales y económicos a las regiones que comunica. Así mismo, el diseño de cada proyecto implica desarrollo de nuevas técnicas y elementos que permitan mejorar su desempeño y vida útil.

Desafortunadamente, estos beneficios y otros pertenecientes a la actividad humana provocan diferentes grados de impacto al ambiente, siendo los ecosistemas frágiles los más afectados.

En el caso de vías de comunicación terrestre como carreteras y vías de ferrocarril existen algunas medidas para mitigar el daño causado al ambiente, las cuales se emplean dependiendo el tipo de problema que se origine. Una de las acciones que ha dado mejores resultados en países en donde el daño ecológico tiene relevancia gubernamental, es la construcción de pasos de fauna superiores e inferiores, con los cuales se pretende detener la segmentación de ecosistemas y por ende la dispersión o incluso extinción de las especies que habitan o se encuentran de paso en el área ocupada por la infraestructura.

3 MARCO LEGAL

3.1 Permisos para el Aprovechamiento del Derecho de Vía

Para comprender mejor la importancia del derecho de vía se enuncia a continuación su definición y funciones dentro de la infraestructura vial.

Derecho de Vía: Es un bien perteneciente a la Federación constituido por una franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y para el uso adecuado de una vía general de comunicación y sus servicios auxiliares. En él están alojados todos los elementos que componen la infraestructura de carreteras, autopistas y puentes.

Sus dimensiones son fijadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la cual establece que la anchura no será menor a 20 metros a cada lado del eje del camino. En el caso de vías de dos cuerpos, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos.

3.1.1 En carreteras federales y zonas aledañas

Están regidos por el REGLAMENTO PARA EL APROVECHAMIENTO DE DERECHO DE VÍA EN CARRETERAS FEDERALES Y ZONAS ALEDAÑAS, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 8 DE AGOSTO DE 2000.

Los pasos de fauna se pueden definir como **cruzamientos** de acuerdo a lo estipulado por el artículo 2º, fracción III, “*Cruzamiento: obra superficial subterránea o elevada que cruza de un lado a otro la carretera*”.

En lo que respecta a permisos, específicamente en el capítulo II, artículo 5º se establece que: “*se requiere permiso previo otorgado por la Secretaría para:*

I.- La construcción de accesos, cruzamientos e instalaciones marginales en el derecho de vía de las carreteras federales”

Dado que los pasos de fauna se consideran cruzamientos, el artículo anterior es aplicable a ellos.

Para obtener el permiso de la Secretaría es necesario cumplir con los requisitos descritos en el artículo 6º, del mismo capítulo del Reglamento, en donde se enuncia: “*Los interesados en obtener un permiso para aprovechar el derecho de vía de las carreteras federales libres de peaje o zonas aledañas deberán:*

- I. Presentar solicitud por escrito;*
- II. Cuando se trate de personas morales, acompañar copia de la escritura constitutiva;*
- III. Señalar la carretera, tramo y kilómetro en donde se llevará a cabo la obra o instalación;*
- IV. En caso de zonas aledañas al derecho de vía, presentar el documento que acredite la propiedad o posesión de la superficie o autorización para su aprovechamiento;*
- V. Presentar plano con medidas y colindancias en el que se delimite la ubicación del predio, tratándose del aprovechamiento de zonas aledañas al derecho de vía;*
- VI. Acreditar pago de derechos”*

Los requisitos anteriormente enunciados deben ser cumplidos tanto para proyectos en carreteras federales libres de peaje como para carreteras federales de cuota. Para estas últimas el trámite debe continuar con los documentos señalados en el artículo 6-A.

Para la construcción de pasos de fauna no se requiere liberar todo el derecho de vía, sino que son considerados modificaciones o ampliaciones dentro del derecho de vía. Razón por la cual el proceso para obtención de permiso los exenta de proporcionar los documentos solicitados en el artículo 6-A, en donde especifica que para “*La construcción, modificación o ampliación de obras en el derecho de vía*” no es necesario anexar los documentos requeridos en el presente artículo.

Los interesados en construir accesos, cruzamientos y obras marginales deberán, además de cumplir con los documentos solicitados en el artículo 6º cumplir con los siguientes requisitos:

- Información del uso que se le dará al predio objeto del acceso.
- Descripción de las instalaciones, calendarizando las diferentes etapas de construcción.
- El plano del proyecto con las características que señale la Secretaría.

3.1.2 En caminos y puentes de cuota

El procedimiento general para la tramitación de permisos se establece en el Manual de Procedimientos para el Aprovechamiento de Derecho de Vía de Caminos y Puentes de Cuota, a continuación se enlista de manera resumida:

1. El interesado deberá acudir a la Unidad General de Servicios Técnicos (UGST) del Centro SCT correspondiente entregando la solicitud y toda la documentación requerida.
2. En caso de que la documentación esté incompleta, la UGST del Centro SCT correspondiente hará las observaciones necesarias en un plazo que no exceda los 10 días hábiles. Posteriormente el interesado cuenta con 10 días hábiles para completar los requisitos faltantes, si al concluir este plazo no dio cumplimiento se considerará abandonada la solicitud.
3. Una vez que la UGST considere aceptable la solicitud y esté completa la documentación, enviará a la Unidad de Autopistas de Cuota (UAC), el expediente con la documentación revisada y el visto bueno correspondiente. La Secretaría a través de la Subsecretaría de Infraestructura otorgará los permisos en un plazo de 30 días hábiles, cuando se cumpla con los requisitos y no se afecte la seguridad de la vía pública.
4. La UAC revisará y estudiará la documentación, emitirá el dictamen técnico y enviará a la Subsecretaría la solicitud para su aprobación.

5. La AUC o la UGST correspondiente requerirá al interesado el pago de derechos mediante cheque certificado o de caja a favor de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes expedido por una sociedad bancaria de la localidad, por la cantidad determinada por la ley Federal de Derechos. El pago se podrá efectuar en las oficinas de la dirección general Adjunta de Administración de la UAC o en el Centro SCT de la Entidad federativa.
6. Una vez que la unidad administrativa de la SCT que haya recibido el pago, entregará al interesado el recibo correspondiente.
7. El interesado acreditará el pago de derechos ante el área técnica de la UAC responsable de la tramitación del permiso. Una vez acreditado el pago de derechos, la UAC remitirá al Centro SCT correspondiente el permiso autorizado para que se entregue al interesado, marcando copia de oficio a la empresa concesionaria.
8. La Subsecretaría emitirá, en su caso la autorización y enviará toda la documentación a la UAC para la continuación del trámite.
9. El Centro SCT, a través de la UGST, vigilará que el permiso se cumpla de acuerdo con las condiciones establecidas por la Secretaría y supervisará que la construcción de las obras o instalaciones se realicen de conformidad con las especificaciones técnicas, así mismo el interesado estará a cargo del control de la calidad correspondiente. Todo esto de acuerdo a los procedimientos indicados en el Sistema de Seguimiento a los programas de Conservación en Autopistas y Puentes de Cuota. Así mismo, informará a la UAC la terminación de los trabajos a satisfacción de la dependencia.
10. Concluidas las obras o instalaciones, se incorporarán al inventario de autopistas de acuerdo con el Sistema de Seguimiento de los Programas de Conservación en Autopistas y Puentes de Cuota.

Para poder llevar a cabo el trámite descrito anteriormente se deben cumplir con requisitos generales, posteriormente se debe cumplir con los requisitos particulares dependiendo el tipo de obra a construir o instalar.

3.1.2.1 Requisitos Generales

A continuación se enuncian los requisitos generales según lo establecido en el, Manual de Procedimientos para el Aprovechamiento del Derecho de Vía en Caminos y Puentes de Cuota:

1. *Enviar una solicitud por escrito a la UGST indicando la siguiente información:*
 - *Nombre o razón social del interesado.*
 - *Nombre de la autopista, tramo, kilómetro.*

- *Especificar si la zona objeto de la solicitud es: urbana, suburbana o rústica.*
 - *Descripción de la obra o instalación a realizar.*
 - *Para el caso de personas morales, anexar copia de la escritura constitutiva de la empresa y poder notarial del representante legal, debidamente certificado ante notario público.*
 - *Croquis de localización de la obra o instalación con el detalle necesario para su adecuada interpretación.*
2. *Convenio entre el concesionario, el interesado y en su caso con terceros.*
 3. *Opinión del concesionario o de CAPUFE en su caso: En dicha opinión se mencionará la factibilidad de llevar a cabo los trabajos. Si existe negativa, deberá estar justificada técnica y legalmente.*
 4. *Acta de inspección:*
 - *En donde la UGST del Centro SCT correspondiente, el solicitante y el concesionario harán una visita de campo para determinar la ubicación exacta de los trabajos las características del sistema constructivo a emplear.*
 - *Se levantará un acta firmada por representantes de la empresa concesionaria, el solicitante y la UGST del centro SCT correspondiente.*
 5. *Proyecto ejecutivo, cuyo contenido se especifica en los requisitos particulares.*
 6. *Planos con las características indicadas en el Anexo 1 del presente manual.*
 7. *Todas las obras contenidas en el proyecto, se llevarán a cabo por cuenta del interesado y deberán quedar terminadas en un plazo no mayor a 180 días naturales a partir de la fecha de autorización, en donde se aprovecharán al máximo las instalaciones existentes.*
 - *Los trabajos deben iniciarse en un plazo que no excedan los 30 días a partir de la fecha de autorización de la obra por parte de la SCT.*
 - *El interesado informará al jefe de la UGST, por escrito y con 10 días hábiles de anticipación el inicio de los trabajos.*
 8. *Serán reconstruidas de inmediato, por cuenta del interesado, las porciones de pista u obras auxiliares que sean dañadas o alteradas por la ejecución del trabajo.*
 9. *Todos los trabajos deberán hacerse de acuerdo con las normas de construcción de SCT, y las especificaciones complementarias que fije la UAC o la UGST.*
 10. *Para evitar accidentes, durante el proceso de construcción, el interesado deberá colocar señales preventivas, restrictivas e informativas de acuerdo con lo establecido en el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de la SCT.*
 11. *Dentro del derecho de día de la autopista queda prohibido la colocación de anuncios comerciales, así como la autorización de estacionamientos o construcciones fijas o semifijas no previstas en el proyecto.*

12. *Todas las obras construidas dentro del derecho de vía se consideran obras auxiliares de la autopista, sujetas a la jurisdicción de la SCT y otras autoridades federales, con carácter de vías generales de servidumbre pública.*
13. *El incumplimiento de cualquiera de las anteriores condiciones o de las complementarias, que señale la UAC o la UGST, cancelará automáticamente la autorización del proyecto.*
14. *Para cualquier modificación del proyecto, el interesado deberá comunicar y solicitar a la SCT la revisión y el dictamen correspondientes.*
15. *Una vez terminados los trabajos deberán retirarse del derecho de vía todos los materiales sobrantes incluyendo el señalamiento, de modo que la carretera y el derecho de vía queden limpios.*
16. *Para que la SCT autorice un permiso para la construcción o instalación en derecho de vía y zonas aledañas, el interesado además de cumplir con los requisitos anteriores, debe cumplir de forma obligatoria los siguientes puntos:*
 - *En todos los casos en que la obra o instalación pretenda llevarse a cabo en zonas aledañas al derecho de vía, el interesado deberá solicitar al Centro SCT correspondiente, una constancia cuya copia entregará a la UAC, en el sentido de que el proyecto no afecta derechos u obras de terceros.*
 - *En caso de que existan obras o instalaciones que corran por el derecho de vía o lo crucen, el interesado deberá solicitar a la entidad, empresa o dependencia correspondiente, una constancia escrita, cuya copia entregará a la UAC, en el sentido que el proyecto no provocará daños en dichas obras o instalaciones.*

3.1.2.2 Requisitos particulares

En los siguientes párrafos se describen los requisitos particulares que se deberán cumplir además de los generales. Se considera el caso particular de: CONSTRUCCIÓN DE OBRAS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y MODIFICACIONES AL PROYECTO ORIGINAL dado que los pasos de fauna entran en la clasificación de Obras e Instalaciones Complementarias.

Las Obras e instalaciones complementarias se definen como aquellas no previstas en el proyecto original y que por condiciones de operación de la autopista se requieren para el adecuado funcionamiento de la misma.

El procedimiento de trámites es el descrito anteriormente, acompañado con los requisitos generales y lo indicado en el “Sistema de Seguimiento de los Programas de Conservación en Autopistas y Puentes de Cuota”.

3.1.2.2.1 Lineamientos generales

Dentro de los Requisitos Particulares, existen Lineamientos Generales a seguir, pero los correspondientes a este caso son los primeros tres:

- *Se deberá contar con la justificación técnica para su realización, misma que deberá someterse a la normatividad correspondiente.*
- *Para proyectos de forestación, el proyecto deberá estar ligado al proyecto geométrico, de acuerdo con el manual de Forestación y el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.*
- *Los proyectos que modifiquen o amplíen el proyecto geométrico original deberán analizarse con base en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras y se podrá apoyar dicho análisis con software autorizado por la SCT.*

Finalmente, es necesario cumplir con los Requisitos Particulares. Para el objeto de estudio de esta investigación, sólo son aplicables los puntos 1, 4 y 5:

1. Se entregará el proyecto ejecutivo, el cual deberá contener:
 - Proyecto geométrico.
 - Proyecto de señalamiento.
 - Proyecto de obras hidráulicas y/o estructuras.
 - Estudios geológicos.
 - Estudios geotécnicos.
 - Especificaciones generales y particulares.
 - Programa de obra.
4. Para el caso de forestación, se entregará el levantamiento planimétrico del tramo, indicando:
 - Tipo de vegetación existente.
 - Características del alineamiento vertical y horizontal.
 - Proyecto de forestación que constará de la propuesta de especies de vegetación, distancias, altura y ubicación.
5. Los que de acuerdo a su naturaleza juzgue convenientes la UGST avalados por la UAC.

3.2 Permisos relacionados con monumentos históricos, artísticos y zonas arqueológicas

En la mayoría de las obras de construcción o modificaciones en una vía de comunicación basta tener los permisos descritos anteriormente para comenzar los trabajos, pero cuando la obra a realizar se encuentra próxima a un lugar de relevancia histórica o bien durante el proceso constructivo son descubiertos bienes con valor arqueológico o histórico, el responsable de la obra debe realizar trámites para la autorización de la obra civil o si es el caso, para que en la zona se realicen trabajos de rescate de los vestigios encontrados.

La descripción de las situaciones en las que se realizan dichos trámites y los requisitos que se deben cumplir son expuestos en la **Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Históricas y Artísticas** y se detallan en su correspondiente Reglamento.

Los artículos de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Históricas y Artísticas de interés a esta investigación son los siguientes:

Artículo 6º: “...Los propietarios de bienes inmuebles colindantes a un monumento que pretendan realizar obras de excavación, cimentación, demolición o construcción que puedan afectar las características de los monumentos históricos o artísticos, deberán obtener el permiso del Instituto correspondiente, que se expedirá una vez satisfechos los requisitos que se exijan en el Reglamento.”

Los requisitos solicitados en el Reglamento de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Históricas y Artísticas a los que hace referencia el artículo 6º, se detallan en sus artículos 42º, 43º y 44º, que a continuación se citan:

Artículo 42º: “Toda obra en zona o monumento, inclusive la colocación de anuncios, avisos, carteles, templetas, instalaciones diversas o cualesquiera otras, únicamente podrá realizarse previa autorización otorgada por el instituto correspondiente, para lo cual el interesado habrá de presentar una solicitud con los siguientes requisitos:

- I. Nombre y domicilio del solicitante
- II. Nombre y domicilio del responsable de la obra
- III. Nombre y domicilio del propietario
- IV. Características, planos y especificaciones de la obra a realizarse
- V. Planos, descripción y fotografías del estado actual del monumento y, en el caso de ser inmueble, sus colindancias
- VI. Su aceptación para la realización de inspecciones por parte del instituto competente;
y
- VII. A juicio del Instituto competente, deberá otorgar fianza que garantice a satisfacción el pago por los daños que pudiera sufrir el monumento.”

Artículo 43º: “El Instituto competente otorgará o denegará la autorización a que se refiere el artículo anterior en un plazo no menor de treinta días hábiles, a partir de la fecha de recepción de la solicitud; en el caso de otorgarse, se le notificará al interesado para que previamente pague los derechos correspondientes.”

Artículo 44º: “Cualquier obra que se realice en predios colindantes a un monumento arqueológico, artístico o históricos, deberá contar con el permiso del Instituto competente y para tal efecto:

- I. *El solicitante deberá cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 42 de este Reglamento.*
- II. *A la solicitud se acompañará dictamen de perito autorizado por el Instituto competente en el que se indicarán las obras que deberán realizarse para mantener la estabilidad y las características del monumento. Dichas obras serán costeadas en su totalidad por el propietario del predio colindante; y*
- III. *El Instituto competente otorgará o denegará el permiso en un plazo no mayor de treinta días hábiles, a partir de la fecha de recepción de la solicitud.*

Continuando con la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Históricas y Artísticas se tiene:

Artículo 29º: *“Los monumentos arqueológicos muebles no podrán ser transportados, exhibidos o reproducidos sin el permiso del Instituto competente. El que encuentre bienes arqueológicos deberá dar aviso a la autoridad civil más cercana. La autoridad correspondiente expedirá la constancia oficial del aviso, o entregará en su caso, y deberá informar al Instituto Nacional de Antropología e Historia, dentro de las 24 horas siguientes, para que este determine lo que corresponda.”*

Artículo 34-BIS: *“Cuando exista el riesgo de que se realicen actos de efectos irreparables sobre bienes muebles o inmuebles con valor estético relevante, la Secretaría de Educación Pública, por conducto del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, sin necesidad de la opinión a la que se refiere el artículo 34º podrá dictar una declaratoria provisional de monumento artístico o de zona de monumentos artísticos, debidamente fundada y motivada de acuerdo con la misma Ley, que tendrá efectos por un plazo de noventa días naturales a partir de la notificación de que esa declaratoria se haga a quien corresponda, en la que se mandará a suspender el acto y ejecutar las medidas de preservación que resulten del caso.*

Los interesados podrán presentar ante el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura objeciones fundadas, dentro del término de 15 días contados a partir de la notificación de la declaratoria, que se harán del conocimiento de la Comisión de Zonas y Monumentos Artísticos y de la Secretaría de Educación Pública para que esta resuelva.

Dentro del plazo de noventa días que se prevé en este artículo, se dictará, en su caso, un acuerdo de inicio de Procedimiento y se seguirá lo previsto en el artículo 5º Ter de la presente Ley. En caso contrario, la suspensión quedará automáticamente sin efectos.”

El “Instituto correspondiente” al que hacen referencia los artículos antes citados, se define en el Capítulo V de la presente Ley, compuesto de los artículos 44º, 45º y 46º.

Artículo 44º: *“El Instituto Nacional de Antropología e Historia es competente en materia de monumentos y zonas de monumentos arqueológicos e históricos.”*

Artículo 45º: *“El Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura es competente en materia de monumentos y zonas de monumentos artísticos.*

Artículo 45º: *“En caso de duda sobre la competencia de los Institutos para conocer un asunto determinado, el Secretario de Educación Pública resolverá a cual corresponde el despacho del mismo.*

Para los efectos de competencia, el carácter arqueológico de un bien tiene prioridad sobre el carácter histórico, y este a su vez sobre el carácter artístico.

3.3 Legislación concerniente a la ejecución de las obras

En la Legislación N-LEG-3/07 se establecen los lineamientos referentes a los permisos y requisitos para la ejecución de obras. Estos últimos son descritos en la cláusula C en donde se definen los elementos que compondrán el proyecto ejecutivo, entre ellos podemos encontrar el **C.5**, el cual señala que el proyecto ejecutivo de la obra deberá contener *“La autorización en materia de impacto ambiental para realizar la obra, expedida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales”*^{Ref.12.}

Para obtener la respectiva autorización del proyecto por parte de la SEMARNAT es necesario que se le envíe una Manifestación de Impacto Ambiental que incluya medidas de mitigación del impacto generado por el proyecto. Es por ello que, aprovechando el tema de esta tesina, propongo que entre los requisitos que exige la norma N-LEG-3/07 enunciados en la cláusula C, se incluya la descripción de los trabajos de mitigación de impacto ambiental a partir del diseño y construcción de pasos de fauna y su respectivo monitoreo para evaluar su efectividad.

Esto con la finalidad de que la construcción o adecuación de estas estructuras sea requisito indispensable en todo proyecto de construcción y/o modernización de la infraestructura carretera y que al mismo tiempo se lleve un seguimiento del desempeño de las estructuras destinadas al paso de fauna.

A primera vista pareciera que la incorporación de pasos de fauna en los proyectos carreteros es un gasto innecesario en donde sus resultados no se observan a corto plazo, pero a largo plazo son una medida muy eficaz para restaura parte del daño ecológico originado por la actividad humana protegiendo la sobrevivencia de fauna silvestre. Al mismo tiempo incrementa la seguridad vial, lo cual se traduce en mayor seguridad humana.

A continuación se describe la importancia y características técnicas que deben tener los pasos de fauna.

4 MARCO TÉCNICO

4.1 Definición de Pasos de fauna

Estructuras transversales a una vía con el objetivo de habilitar el paso seguro de fauna a los hábitats fragmentados por la construcción de infraestructura de transporte. Su funcionamiento puede estar restringido al desplazamiento de fauna o pueden compartir uso para otros propósitos como: drenaje, restitución de caminos, vías fluviales y vías pecuarias. Este tipo de pasos pueden ser superiores o inferiores a la vía.

4.2 Justificación del uso de Pasos de fauna

Son ampliamente conocidos los beneficios económicos y sociales que genera en la población la construcción de infraestructura vial. Para ello se tienen todo tipo de manuales y normas para su trazo, selección de materiales, proceso constructivo y hasta señalamiento, pero poco se habla sobre el impacto ambiental que ocasionan las vías de transporte.

Entre los daños más representativos se encuentran:

- ⊕ **Fragmentación de hábitats:** En toda actividad humana se presenta este fenómeno pero en el caso de las vías de transporte ocurre cuando una vía de ferrocarril, una carretera o una autopista atraviesa un hábitat de tamaño considerable, dividiéndolo en dos o más partes rompiendo así la conectividad ecológica del lugar.

- ⊕ **Efecto barrera:** Es una de las consecuencias de la fragmentación de hábitats, en donde la presencia de la infraestructura vial dificulta o evita que las especies que quedaron separadas en diferentes sub-hábitats puedan desplazarse entre ellos, disminuyendo sus posibilidades de conseguir alimento o de reproducción que a su vez origina la presencia de *metapoblaciones*, las cuales tienen mayor probabilidad de extinción que poblaciones de gran tamaño.
El efecto barrera no sólo perjudica los ciclos de vida de la fauna, por ejemplo; las plantas con frutos carnosos o semillas que son dispersadas por animales también se verán afectadas. Ref. 11

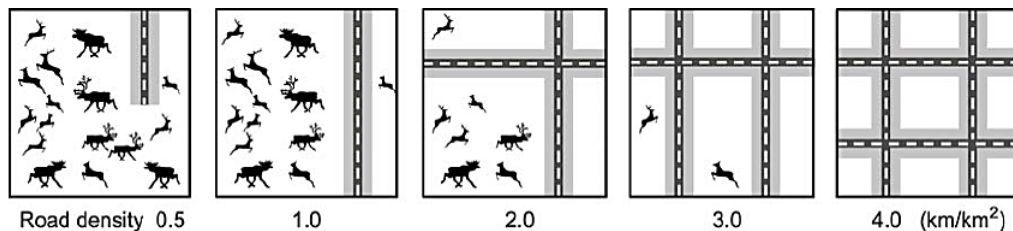


Fig. 4-1 El incremento en la densidad de vías fragmenta hábitats en pequeños parches que crean cantidades desproporcionadas de hábitats de borde. Imagen: Luell 2005.

- ⊕ **Efecto borde:** Es otra de las consecuencias de la fragmentación de hábitats. Se observa cuando un ecosistema que fue fragmentado, presenta cambios bióticos y abióticos en sus segmentos y en lo que resta del hábitat original.

En el caso de carreteras este efecto se aprecia en las inmediaciones o en el borde de vía, donde se crearán condiciones con mayor temperatura, menor humedad, mayor radiación y mayor susceptibilidad de viento, dando como resultado una diferente distribución de especies al cambiar el tipo de vegetación y la oferta de la misma. En estas circunstancias son atraídas especies “oportunistas” aquellas que las nuevas condiciones favorecen su supervivencia y reproducción, desplazando a las especies locales que habitaban el ecosistema antes de ser fragmentado. ^{Ref. 9 y 10}

- ⊕ **Mortalidad de fauna por atropello o colisión:** Este efecto se presenta tanto en mamíferos, como en aves, reptiles y anfibios. En México hay poca información al respecto, pero dos tesis de licenciatura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo abordan el tema de mortalidad de vertebrados como mamíferos, aves, reptiles y anfibios por atropellamiento en carretera costera Lázaro Cárdenas-Coahuayana en Michoacán, en donde se realizaron diez recorridos de muestreo durante entre 2010 y 2011, donde el mayor número de individuos atropellados fueron mamíferos.

Otro documento que aborda el tema es un estudio a corto plazo que se realizó en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca en donde se monitoreó 1.2 km de carretera durante 49 días, en donde el mayor número de especies afectadas fue el de anfibios y reptiles. Entre las especies que se documentaron en el estudio son:

- tlacuaches (*Didelphis* spp.)
- sapos (*Rhinella marina*)
- coatí (*Nasua narica*)
- zorrillo de una banda (*Conepatus mesoleucus*)
- armadillo de nueve bandas (*Dasybus novemcinctus*)
- oso hormiguero (*Tamandua mexicana*)
- boa constrictor (*Boa constrictor*)
- iguana verde (*Iguana iguana*)
- iguana negra (*Ctenosaura pectinata*)

De las cuales la iguana verde y la iguana negra son consideradas por la NOM-059-SEMANRNAT-2010 consideradas por la NOM-059-SEMANRNAT-2010 y por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) como especies amenazadas.

“En el estado de Campeche se tiene reportes de accidentes automovilísticos donde está involucrada la muerte de tapires centroamericanos (*Tapirus bairdii*), mamífero que puede pesar más de 250 kg y que actualmente se encuentra en peligro de extinción”.^{Ref. 9}



Fig. 4-2 Tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*)



Fig. 4-3 Comparación del tamaño de un tapir respecto a un ser humano.

Otro caso de prioridad ecológica se localiza en la carretera federal 180, tramo Nautla – Cardel aproximadamente en el km 100+000 en el estado de Veracruz, donde se tiene conocimiento del atropellamiento del cangrejo azul (*Cardisoma guanhumi*) y cangrejo rojo (*Gecarcinus lateralis*) en grandes cantidades. A pesar de que las poblaciones de ambas especies han disminuido drásticamente en los últimos 10 años (ya sea por el aumento de vialidades que atraviesan sus rutas de migración, o bien por ser víctimas de la caza furtiva), aún no han sido incluidas en la Lista de especies en riesgo emitida por la NOM-059-SEMARNART-2010.

Se tiene registro que en Cancún y en el puerto de Veracruz particularmente en las zonas de Mocambo y Boca del Río, se lleva a cabo campañas de protección en las que se instalaron mallas de alambre que evitan el paso de los cangrejos a las avenidas, en donde voluntarios recogen a los crustáceos en recipientes y los devuelven al mar y pantanos. Este esfuerzo aunque valioso es insuficiente si en tramos carreteros como el de Nautla – Cardel no existe ningún elemento de infraestructura que proteja la migración de estas especies de cangrejo.

Desde el punto de vista social, los vehículos que se ven obligados a cruzar la carretera en este tramo, se exponen a accidentes y/o daños en sus vehículos, además que en las regiones antes mencionadas de Mocambo y Boca del Río el hedor generado por la gran cantidad de cangrejos triturados por el paso de automóviles llegó a ser insoportable. ^{Ref. 19}



Fig. 4-4 A la izquierda: cangrejo rojo (*Gecarcinus lateralis*). A la derecha: cangrejo azul (*Cardisoma guanhumi*)

- 6. Perturbaciones:** Ruido, contaminación, iluminación artificial, son elementos que ocasionan perturbaciones a las especies que habitan en terrenos adyacentes a la vialidad, provocando que sus hábitats sean cada vez menos capaces de acoger fauna silvestre y que sus procesos de reproducción se vean alterados. Un ejemplo de ello es en el caso de las aves, donde los altos niveles de ruido dificultan su comunicación y nidificación. ^{Ref.7 y 9}

Como es de suponerse, existen alternativas que pretenden mitigar el impacto ambiental de la infraestructura vial en la fauna de la región. Las soluciones que se conocen pueden ser *estructurales* o *no estructurales*. A continuación se describen cada una de ellas:

4.2.1 Soluciones estructurales

Cercas: Tiene la ventaja de que se puede establecer una valla con vegetación existente en la zona como cierto tipo de arbustos y árboles. En efecto; evitan la entrada de animales a la vía pero este mismo fenómeno acentúa el efecto barrera, con ello surge la necesidad de plantear medidas adicionales que faciliten el paso de fauna por determinados puntos.

Si se utilizan cercas de malla metálica, es necesario enterrarlas de 20 a 40 cm debajo del nivel del terreno, debido a que algunas especies cavan para poder atravesarlas por debajo.

Las pantallas acústicas transparentes fueron diseñadas para reducir la contaminación auditiva que genera la operación de la infraestructura al mismo tiempo que representa una barrera para las especies que deseen atravesar la carretera, pero su instalación no solo

perjudica el avance de la fauna terrestre, también representan un peligro para las aves que se llegan a impactar con ellas, padeciendo un efecto similar a la colisión con un vehículo. ^{Ref. 7}

- **Señalización:** Consiste en la colocación de señalamiento para que los automovilistas disminuyan su velocidad y tomen precauciones en zonas donde es común la marcha de fauna. La desventaja presente en esta solución es que en nuestro país no existe una sólida cultura vial que asegure que se respetará el señalamiento, por lo tanto la eficacia de la señalización sería muy limitada o nula. ^{Ref. 9}



Fig. 4-5 Ejemplos de señales preventivas que advierten el cruce frecuente de animales en las vías de transporte.

- **Reflectores:** Su plan de acción reside en la colocación de reflectores en los bordes de las vías para que al acercarse vehículos con los faros encendidos, su luz se refleje en los dispositivos. Se espera que el reflejo sirva para ahuyentar o por lo menos advertir a los animales sobre la proximidad de peligro al acercarse a esa zona. Existen dos tipos de reflectores: uno estándar, que se utiliza en terrenos planos y otro, para terrenos con marcada inclinación.

Su efectividad se observa poco tiempo después de su instalación, pero al cabo de un lapso, algunas especies se adaptan a este fenómeno y pierde su efecto, por lo que se concluye que no es el método más eficiente. ^{Ref. 9 y 10}



Fig. 4-6 Reflectores instalados en carreteras de Aragón, España.

- **Pasos de fauna:** Representan un paso seguro a través de una carretera o una autopista, permitiendo la conexión entre hábitats además que favorecen la vegetación presente en la zona. Es la solución que mejor reduce las alteraciones ambientales sufridas a causa de la infraestructura para autotransporte y ferrocarril. Su desventaja es el alto costo de su implementación, además que al necesitar estudios detallados sobre las especies que habitan la zona de construcción, con ello el proceso constructivo se demora.

En algunos casos resulta conveniente aprovechar las estructuras existentes para otros fines, como las tuberías de drenaje, lo cual resulta en un coste menor siempre y cuando se haya hecho la evaluación adecuada y sea comprobada su viabilidad. De no ser así, el aprovechamiento de instalaciones existentes pudiera resultar contraproducente.

Es importante que para la forestación del paso de fauna construido se utilice especies vegetales presentes en la zona o las que indique el Manual de Forestación que emite la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.^{Ref. 7, Ref. 9 y Ref.10}

4.2.2 Soluciones no estructurales

- **Repelentes olfatorios:** Consiste en utilizar diferentes sustancias con olores estratégicos (de depredadores u olores desagradables) para conducir a los animales a cierto lugar o para alejarlos de las carreteras. Es una medida que se ha utilizado principalmente en Europa, pero aún no se tiene registrada su efectividad.
- **Ultrasonido:** También es un método muy poco explorado por lo que no se sabe con certeza su efectividad en evitar la mortalidad de fauna en carreteras.
- **Iluminación:** Instalación de iluminación en los bordes de la vía. Tiene una efectividad limitada y la desventaja de que al mantener un área iluminada provoca alteraciones en el ciclo reproductivo de ciertas especies, en otros casos puede causarles desorientación. En el caso de los países nórdicos se observó que afectaba los ciclos de anidación de las aves.
- **Modificación del hábitat:** Consiste en transformar la vegetación del hábitat para propiciar una respuesta específica en la fauna o en los usuarios de la vía. Un ejemplo de ello es podar la vegetación en el borde de vía para mejorar la visibilidad de los conductores y así puedan percibir cuando un animal intenta cruzar la carretera. Otro ejemplo es sembrar al borde de vía vegetación que no es agradable para la fauna del lugar.^{Ref. 10}

4.3 Situaciones en las que deben existir pasos de fauna

- En carreteras y autopistas donde exista alta accidentalidad de usuarios originada por atropellamiento o impacto contra vertebrados, especialmente ungulados.

- En lugares donde haya un alto índice de mortalidad de fauna asociada a la infraestructura, especialmente si las víctimas se encuentran en la lista de especies en peligro de extinción o protegidas contenida en la norma NOM-059-SEMARNAT-2010.
- En sitios donde la fauna afectada requiera de grandes extensiones de terreno para su desarrollo y proliferación, como son los ungulados, los carnívoros medianos y grandes.
- En regiones donde exista movimiento de fauna esparcidora de semillas entre los hábitats separados por la vía.
- En infraestructura que atraviese las rutas de migración de fauna.
- En el caso de que la carretera o la vía férrea pase por un arroyo, río o cualquier otro cuerpo de agua, se podrá aprovechar la infraestructura hidráulica, por ejemplo alcantarillas, las cuales pueden funcionar como paso para fauna acuática, anfibios, reptiles y mamíferos pequeños.
- Cuando en alguno de los hábitats separados se encuentre un cuerpo de agua que sea aprovechado por las especies que habitan en la región.
- Cuando los hábitats fragmentados poseen amplias áreas de vegetación nativa, como el caso de bosques y selvas.



Fig. 4-7 Venado intentando cruzar una autopista como resultado de la fragmentación de su hábitat.

4.4 Ubicación de los pasos

Para tener un aprovechamiento eficiente de los pasos de fauna, se debe elegir cuidadosamente su localización. Para tal propósito se presentan a continuación los factores a considerar:

- Por medio de investigación documental, de campo y con ayuda de Sistemas de Información Geográfica, identificar el tipo de fauna que habita en los terrenos

adyacentes a la infraestructura vial, las áreas en donde se desarrolla y de ser el caso; las rutas migratorias que se realizan en la región.

- Con esta información también se podrá conocer los hábitats en la zona y el grado de fragmentación que sufrirían con la presencia de la vía.
- Teniendo definidos los hábitats, se dará prioridad a aquellas zonas donde existan especies amenazadas, o aquellas que realizan migraciones entre los hábitats fragmentados. En caso de no saber si alguna especie de la región se encuentra en peligro de extinción, será necesario consultar la NOM-059-SEMARNAT-2010, donde se detalla una lista de especies en riesgo. En el caso de especies migratorias se debe ubicar sus rutas, procurando que la construcción del paso sea dentro de las mismas.
- Las variaciones en el relieve puedan ayudar a canalizar el desplazamiento de animales, tales como crestas, valles y arroyos, los cuales facilitan el paso de fauna terrestre y acuática.
- En zonas donde hay un alto índice de accidentalidad vial a causa de colisiones con grandes mamíferos.

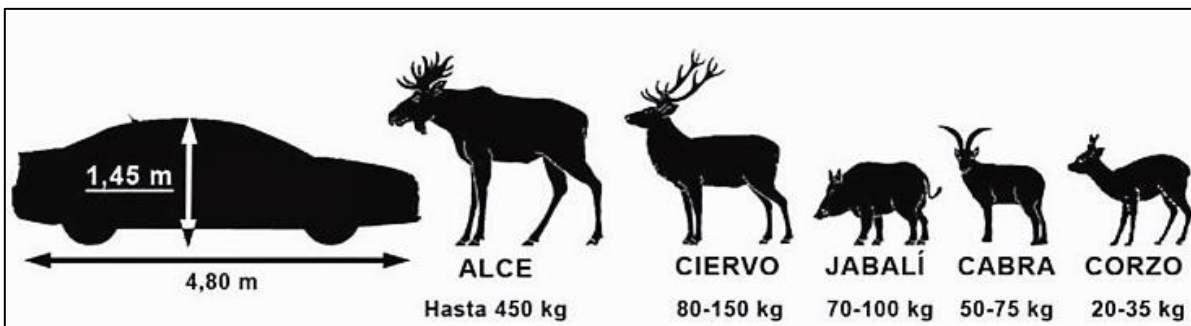


Fig. 4-8 Tamaño de algunas especies de ungulados con relación a un automóvil tipo sedán.

- Evitar ubicaciones que desemboquen en otras barreras, como muros, taludes con pendientes demasiado pronunciadas que dificulten la salida del paso, etc. ^{Ref. 7}

4.5 Densidad de los pasos de fauna

No se tiene un número específico para todos los casos porque la cantidad de pasos está determinada por el número de especies de la región en estudio, su comportamiento y la distribución de los tipos de hábitats.

Se recomienda que la densidad de los pasos sea mayor en zonas que crucen entornos naturales como bosques, selvas, campos de cultivo tradicional; y que su densidad sea menor en zonas urbanas o en zonas de agricultura intensiva.

Existe el argumento de que construir varios pasos de fauna ayuda a reducir el riesgo de que alguno de los pasos no sea efectivo para las especies que se diseñó. ^{Ref. 11}

“Se espera que la vida útil de los pasos de fauna sea entre 70 y 80 años, por lo que debe garantizarse su funcionalidad a largo plazo. Su adecuada ubicación debe ser elegida considerando el carácter cambiante del entorno natural”. ^{Ref. 11}

En el documento “Prescripciones Técnicas para el Diseño de Pasos de Fauna y Vallados Perimetrales” emitido por el Ministerio de Medio Ambiente de España se propone una densidad de pasos dependiendo el tipo de especies. A continuación se muestra en la siguiente tabla:

Tipos de Hábitats	DENSIDADES MÍNIMAS PARA PASOS DE FAUNA	
	Número de pasos para grandes mamíferos	Número de pasos para pequeños vertebrados
Hábitats forestales y otros tipos de hábitats de interés para la conservación de la conectividad ecológica.	1 paso cada km	1 paso cada 500 m
El resto de hábitats transformados por actividades humanas (incluye zonas agrícolas)	1 paso cada 3 km	1 paso cada km

Tabla 4-1 Densidades mínimas para la localización de pasos de fauna dependiendo el tipo de hábitat y del grupo de referencia.

Cabe señalar que esta tabla es una propuesta, cuyos valores pueden variar en para cada caso específico, por lo que no debe tomarse como una regla absoluta para todos los casos. ^{Ref.7}

4.6 Criterios de elección del tipo de estructura

- **Criterio 1, Importancia del terreno para la conectividad ecológica:** en donde se deben hacer estudios que determinen a nivel detallado la distribución de los hábitats de mayor interés para la conectividad ecológica de las especies, con lo cual se identificará el potencial de cada uno:
 - *Alto:* Son áreas clave para la conectividad entre hábitats y que facilitan la movilidad de fauna a nivel regional y local. Por su importancia en la conectividad ecológica, no se recomienda la implementación de pasos de uso mixto, por el contrario, deben ser pasos superiores para uso exclusivo de fauna.
 - *Medio:* Hábitats relativamente intactos, aquellos que no necesiten una designación de conservación especial, hábitats en los que la movilidad de la fauna no dependa totalmente de ellos o bien aquellos en los que en un futuro se planea restauración. Para este tipo de ecosistemas la presencia de pasos de uso mixto es opcional pero lo que no resulta recomendable es la construcción de pasos elevados como puentes y viaductos.
 - *Bajo:* Hábitats con transformaciones considerables ocasionadas por actividad humana, donde la conectividad de vida silvestre no es tan urgente. En este tipo de

entornos tampoco es recomendable la instalación de pasos elevados, en su lugar es preferible colocar pasos de uso mixto, pasos subterráneos o adaptar la infraestructura hidráulica existente para que funcione como paso a desnivel para pequeñas especies acuáticas y terrestres.^{Ref. 7}

- **Criterio 2, Características topográficas:** Es conveniente que los accesos a los pasos estén al mismo nivel que los terrenos adyacentes a la infraestructura vial, razón por la cual se recomienda que si la vía se localiza entre cortes, se construya un paso superior de modo que los cortes a los lados funcionen como apoyos. Por el contrario, si la vía se construyó sobre terraplén, el paso de fauna sea inferior.

En el caso de terrenos llanos se tienen dos opciones:

- Elevar la rasante del camino para poder construir pasos inferiores.
- Construir rampas de acceso con poca pendiente en donde será necesario adquirir derecho de vía 8 metros más si se trata de autopistas y vías rápidas y 3 metros más si se trata de carreteras convencionales.

En tramos donde los costados de la vía sean corte y terraplén en la misma sección transversal, no se recomienda construir pasos de fauna, aunque en casos excepcionales pueden proyectarse pasos superiores con tipología constructiva de falso túnel que se adapten a la topografía del terreno^{Ref. 7}

- **Criterio 3, Especies o grupos faunísticos de referencia:** Los pasos de fauna tienen como finalidad beneficiar al mayor número posible de especies, por lo que resulta práctico dividirlos en los grupos faunísticos:
 - *Grandes mamíferos:* Especialmente ungulados (venados, tapires, jabalíes, borregos), grandes carnívoros (osos, lobos, jaguares, pumas).
 - *Pequeños vertebrados:* Carnívoros de talla media el resto de mamíferos que no estén en la categoría de grandes mamíferos, también incluye a reptiles (zorros, mapaches, hurones, conejos, tlacuaches).
 - *Anfibios:* Los pasos de fauna para anfibios también pueden ser utilizados por roedores y micromamíferos (insectívoros y roedores).
 - *Peces:* Fauna acuática, principalmente peces.^{Ref.7}

4.7 Dimensiones

Se procurará que los pasos se construyan en dirección perpendicular a la vía, porque de este modo se tendrá un tramo más corto.

A continuación se proporciona un cuadro de medidas para pasos superiores e inferiores, las cuales fueron definidas así para brindar mayor efectividad a los pasos. Para poder entender con mayor claridad se ilustra lo que significa cada variable:

4.7.1 Pasos inferiores vehiculares (P.I.V)

Un paso inferior es aquel que cruza la carretera que pasa por debajo de él.

Donde:

L= largo

A=ancho

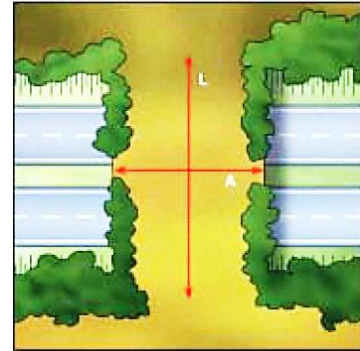


Fig. 4-9 Largo y Ancho en un paso inferior (Ref. 7)

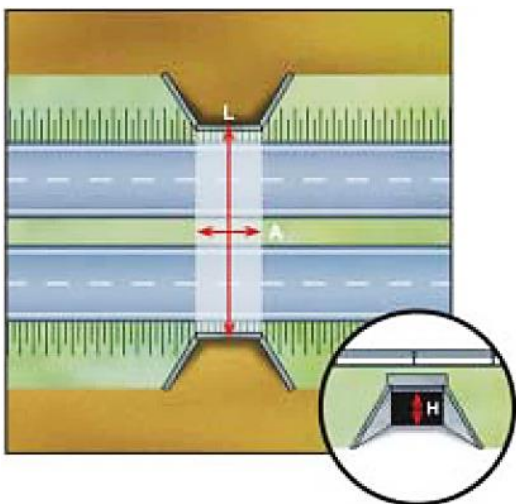
También son conocidos como “puentes verdes”, deben tener un ancho A mínimo de 8 metros, su suelo tiene que estar acondicionado con la vegetación del lugar y su parapeto debe estar cubierto con cercas de madera que funcionan como barrera visual y auditiva.

La tabla de dimensiones que a continuación se presenta, fue extraída de la referencia 7, donde las medidas propuestas buscan optimizar el desempeño de los pasos inferiores:

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia	Dimensiones	
			Mínimas	Recomendadas
Ecoducto	Específico para fauna	Todos, excepto anfibios y especies acuáticas	A: 80 m	***
Paso inferior específico para fauna	Específico para fauna	Grandes mamíferos	A: 20 m A/L > 0.8	A: 40-50 m
Paso inferior multifuncional	Paso de fauna y vía pecuaria	Grandes mamíferos	A: 10 m A/L > 0.8	A: 20-50 m
Paso entre árboles	Específico para fauna	Mamíferos arborícolas (monos, ardillas, marsupiales)	***	***

Tabla 4-2 Resumen de dimensiones adecuadas para pasos de fauna superiores (Ref. 7)

4.7.2 Pasos Superiores Vehiculares (P.S.V)



Los pasos superiores son aquellos que atraviesan la carretera que pasa sobre ellos.

Las dimensiones dependen del tamaño de los animales, por ejemplo: para animales medianos, el ancho puede ser entre 5 y 12 metros mientras que para animales de gran tamaño el ancho del paso puede ser de hasta 25 metro. La altura H de varía entre los 3 y 5 metros.

Donde:

L=longitud

A=ancho

H=altura

Fig. 4-10 Altura, largo y ancho en pasos superiores (Ref. 7)

A continuación las dimensiones propuestas por la referencia 7, para lograr resultados más eficaces:

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia	Dimensiones							
			Mínimas (AxH)		Recomendadas (AxH)					
Viaducto	Multifuncional	Todos	***		***					
Paso superior específico para grandes mamíferos	Específico para la fauna	Grandes mamíferos	Jabalí: 7 x 3.5 m		15 x 3.5 m					
			Índice de apertura > 0.75							
			Ciervo: 12 x 3.5 m							
			Índice de apertura > 1.5							
Paso superior multifuncional	Mixto: Paso de fauna y vía pecuaria	Grandes mamíferos	Jabalí: 7 x 3.5 m		15 x 3.5 m					
			Índice de apertura > 0.75							
			Ciervo: 12 x 3.5 m							
			Índice de apertura > 1.5							
Paso superior específico para pequeños vertebrados	Específico para la fauna	Pequeños vertebrados	2 x 2 m		***					
Drenaje adaptado para animales terrestres	Mixto: Paso de fauna y drenaje	Pequeños vertebrados	2 x 2 m		***					
Drenaje adaptado para peces	Mixto: Paso de fauna y drenaje	Peces	***		***					
Paso para anfibios	Específico para la fauna	Anfibios	Longitud (m):				<20	20-30	30-40	40-50
			Sección AxH (m):				1x0.75	1.5x1	1.75x1	2x1.5
			Diámetro (m):				1	1.4	1.6	2

Tabla 4-3 Resumen de dimensiones adecuadas para pasos de fauna superiores (Ref. 7)

En el siguiente subtema se detallan las características de cada tipo de paso de fauna. ^{Ref.7}

4.8 Tipos de estructuras de pasos de fauna

4.8.1 ECODUCTO

Los ecoductos son pasos inferiores a la infraestructura, cuyas grandes dimensiones y su cobertura vegetal con la flora del entorno permiten una reintegración eficiente al ambiente. Estas estructuras normalmente se construyen sobre vías de alta capacidad y sobre vías de tren de alta velocidad. ^{Ref. 8}



Fig. 4-11 Ecoducto De Woeste Hoeve, Holanda. Autopista A50

Uso: Exclusivo para fauna.

Especies que pueden usarlo

- Principalmente ungulados y grandes carnívoros.
- Mamíferos medianos y pequeños.
- Reptiles e invertebrados.
- No es recomendable para anfibios por la aridez de su superficie.
- Puede servir para orientar el vuelo de aves y murciélagos.

Características geométricas.

- Ancho mínimo de 80 metros.
- La estructura puede tener cualquiera de los siguientes arreglos:

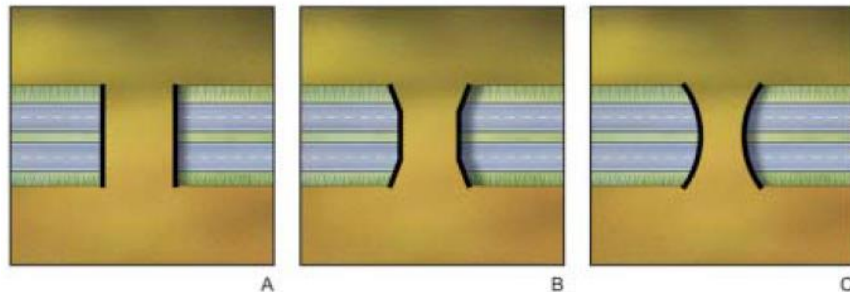


Fig. 4-12 Posibles configuraciones en la forma del puente que compone el ecoducto (Ref. 7)

De los cuales es preferible utilizar los arreglos B y C, el motivo es porque facilitan el encauzamiento de los animales a la estructura. ^{Ref. 7}

Construcción

Se recomienda construir en zonas de cortes, de modo que los taludes funcionen como soportes para el puente. En caso de que se desee ubicar el paso en terrenos llanos, los

accesos serán rampas con pendientes de 15-25%. La superficie deberá estar cubierta con la vegetación autóctona de la zona además de otros elementos como troncos y piedras que sirven como refugio para especies pequeñas y reptiles.

Para tener un drenaje adecuado, se establecerá una pendiente de 2-3% a partir del eje longitudinal del ecoducto hacia los laterales.

El uso de pantallas de protección sólo se recomienda para pasos superiores angostos. En aquellos que superen los 50 m de ancho es preferible la plantación de setos en los laterales de la estructura, procurando que existan grupos de mayor densidad en algunas zonas.

Los laterales deberán estar cubiertos por una elevación longitudinal de tierra con mínimo 1 metro de altura. En la tierra cercana al vallado de protección tendrá que sembrarse densamente árboles y arbustos de manera que funcionen como pantallas naturales que reducen las molestias de luces y ruido para los animales además de las pantallas artificiales (en caso de que existan). Así mismo, se recomienda sembrar plantas que constituyan el alimento de las especies beneficiadas por el paso.

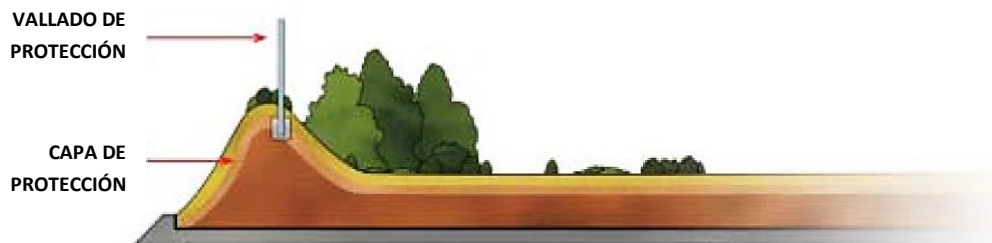


Fig. 4-13 Estructura y elementos necesarios en los laterales del puente del ecoducto (Ref. 7)

El grosor mínimo de capa de tierra para sembrar vegetación es de 0.3 m para arbustos, de 0.6 a 1.5 m para árboles.

Para su construcción se pueden utilizar elementos para la construcción de puentes como son: estructuras de falso túnel y bóvedas. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.

Cerramiento perimetral

Como ya se mencionó anteriormente, se instalará para conducir a los animales hacia el paso de fauna, pero también es útil para evitar que lleguen a carreteras o vías férreas de alta intensidad de tránsito.

Para el caso de este tipo de paso de fauna se establecen las siguientes recomendaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*.

El material más adecuado para los alambres del cerramiento es el acero galvanizado de 2.5 mm de diámetro. Para el vallado se puede utilizar malla cinética con mayor densidad en la parte inferior pero la malla anudada rectangular de alambre de acero galvanizado y densidad progresiva (más denso en la parte inferior) o con malla ciclónica presentan mayor eficacia. En el caso donde la malla utilizada no sea de densidad progresiva será necesario instalar en la parte inferior otra malla de abertura más compacta con una altura entre 40-60 cm para evitar que especies pequeñas la atraviesen.

La instalación de la malla será ajustándola completamente a la base del terreno y preferentemente enterrando la parte inferior de 20-40 cm para evitar que algunas especies como zorros o jabalís levanten con facilidad el vallado y se internen en la calzada.^{Ref. 7 y Ref. 8}

Los postes de fijación de la malla deben instalarse en la parte interior del vallado, para evitar que ceda en caso de recibir golpes de grandes mamíferos que intenten saltarla. Su diámetro será de 10 cm si son de acero galvanizado y de 12 cm si son de madera tratada para resistir la intemperie. Es importante destacar que no deben existir espacios de escape en las uniones entre los postes y la malla.

La parte inferior del poste debe estar enterrada y reforzada con una base de concreto a una profundidad de 70 cm o más si se encuentra en terreno blando.

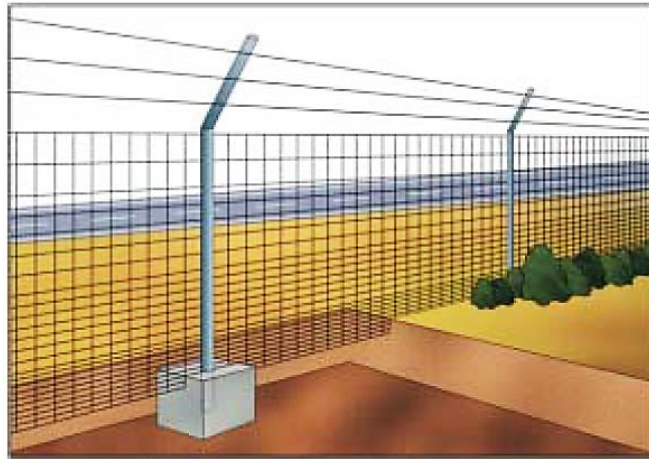


Fig. 4-14 Se observa que la base de los postes está enterrada y reforzada con concreto, al mismo tiempo que se muestra mayor densidad de malla en la parte inferior. La parte superior de los postes está inclinada hacia el exterior de la carretera y coronada con alambrado para evitar que grandes especies intenten pasar por encima (Ref. 7)



Fig. 4-15 Un ejemplo de lo que no se debe de hacer. La malla no está enterrada, por lo que algunas especies pueden evadirla pasando por debajo de ella. Foto: F. Navàs.

La separación entre postes será entre 4-6 m (máximo 10 m en terrenos llanos). En presencia de jabalí la distancia máxima será de 4 m.^{Ref. 8}

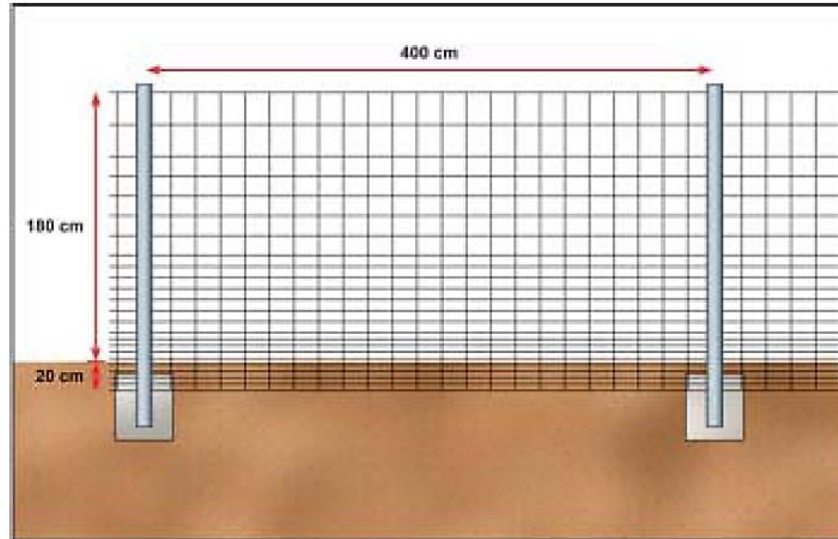


Fig. 4-16 Esquema general del cerramiento perimetral para grandes mamíferos (Ref. 7)

La altura de la valla estará determinada por las especies que transitarán por el lugar:

- Grandes mamíferos (venados, osos): 2.2 m - 2.8 m
- Mamíferos medianos (jabalí, pumas): 1.6 m – 1.8 m

La altura debe medirse de acuerdo a los desniveles del terreno (si se situará en terraplén, llano o corte) considerando también el nivel del terreno después de una nevada y dependerá también de la parte por la que se acercan los animales. ^{Ref. 7}

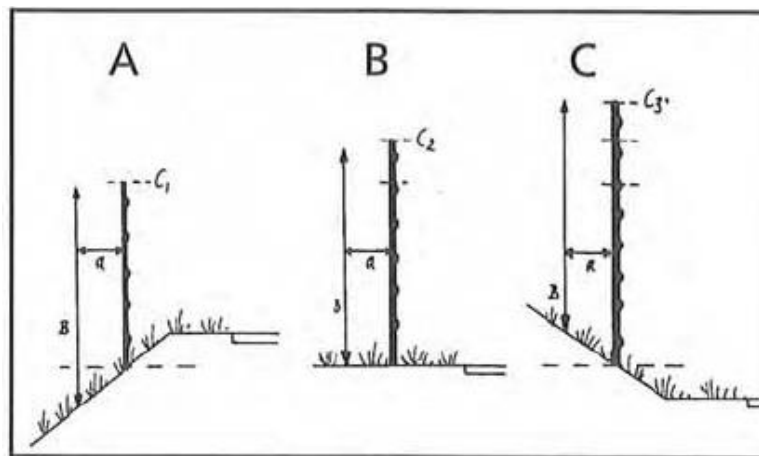


Fig. 4-17 Medición de la altura del vallado dependiendo si se instaló en A: en terraplén, B: terreno llano y C: En corte (Ref. 8)

Mantenimiento

Durante los primeros años, realizar riegos periódicos para garantizar la sobrevivencia de la vegetación implantada. Ya habiendo logrado este objetivo, se debe cuidar de podar con

relativa frecuencia el centro del paso de modo que la vegetación no crezca de forma descontrolada e impida el paso a los animales.

Realizar reparaciones en el cerramiento perimetral y en otros desperfectos observados.

Se debe vigilar también que no haya invasiones por actividad humana y de ser así, tomar las acciones correctivas necesarias. ^{Ref. 7}



**Fig. 4-18 Ecoducto Red Earth en la Autopista Trans Canadá del Parque Nacional Banff de Alberta, Canadá.
Foto: Andrew Evans, National Geographic Traveler**

4.8.2 PASO INFERIOR ESPECÍFICO PARA LA FAUNA

Este tipo de pasos podrían ser confundidos con los ecoductos, dado que comparten la finalidad de proporcionar un traslado seguro de fauna entre ambos lados de la infraestructura vial, pero difieren en otros aspectos:

- Mientras que el objetivo de los ecoductos es conectar la fauna con sus diferentes hábitats y al mismo tiempo restaurar dichos hábitats reestableciendo la continuidad entre las comunidades vegetales, los pasos inferiores específicos de fauna sólo se enfocan en el beneficio a los animales que necesitan desplazarse entre los ambientes separados por la vía.
- Tienen una anchura menor a la de los ecoductos.
- Es obligatorio el uso de pantallas laterales de madera para evitar molestias a los animales que utilizan el paso. Ref. 7 y Ref. 8



Fig. 4-19 Esquema general de un paso inferior específico para fauna (Ref. 7)

Uso: Exclusivo para fauna.

Especies que pueden usarlo

- Principalmente ungulados y grandes carnívoros.
- Mamíferos medianos y pequeños.
- Reptiles e invertebrados.
- No es recomendable para anfibios por la aridez de su superficie.
- Puede servir para orientar el vuelo de aves y murciélagos.

Características geométricas.

- Ancho mínimo: 20 m
- Ancho recomendado: 40-50 m
- La anchura requerida aumenta respecto a la longitud del paso, por lo cual, la proporción ancho:longitud debe ser mayor a 0.8
- Altura de la pantalla lateral: 2 m
- En terrenos llanos los accesos serán rampas con una pendiente máxima de 15% y en zonas montañosas la pendiente máxima será de 25%. Ref. 7

Construcción

Las prescripciones constructivas son prácticamente las mismas que los ecoductos, con la diferencia que en este caso se especifica que las pantallas a utilizar deben ser opacas, preferiblemente de madera, las cuales deben cubrir en su totalidad la vista hacia la infraestructura vial.

La superficie del paso deberá ser cubierta con tierra vegetal y las plantaciones serán en las partes laterales del paso, dejando el centro libre de vegetación o con vegetación herbácea. Las especies que se plantarán serán autóctonas de la región, eligiendo aquellas que muestren mejor adaptación a la superficie del paso y que requieran mínimos cuidados.

El grosor de la capa de suelo depende del tipo de hábitat, a continuación se presentan los grosores recomendados según el tipo de vegetación a plantar:

- Herbáceas: 0.3 m
- Arbustos: 0.6 m
- Árboles: 1.5 m

En el caso de existir pasos inferiores en zonas áridas resulta inviable mantener vegetación, por lo que se deben colocar hileras de objetos inertes como piedras o troncos en los laterales del paso, los cuales servirán como refugio a especies pequeñas.

Si un paso específico excede de los 50 m de anchura, se pueden sustituir las pantallas opacas por elevaciones de tierra ubicadas en los márgenes de la estructura en donde se plantarán densamente arbustos, con la finalidad de reducir las perturbaciones ocasionadas por la vialidad. Ref. 7 y Ref. 8

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.



Fig. 4-20 Construcción de un paso inferior específico con pantallas opacas instaladas

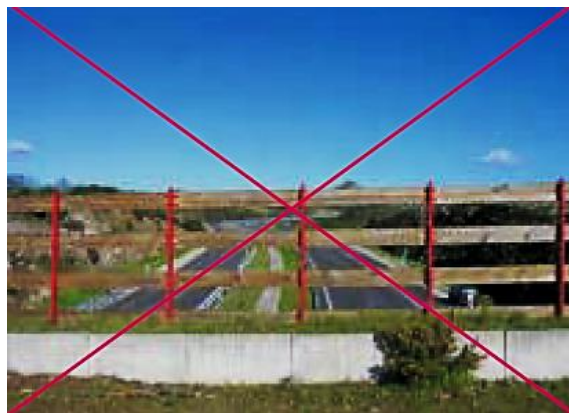


Fig. 4-21 Incorrecta ejecución de una pantalla lateral. Foto: C. Rosell

Cerramiento perimetral

Será instalado de acuerdo a las especificaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*, establecidas en el subtema 4.8.1. ECODUCTO.

Mantenimiento

Requieren el mismo mantenimiento que los ecoductos, siendo prioridad supervisar que no se den usos indebidos o bien que no existan asentamientos humanos en las cercanías del paso o que no se utilice para el paso de vehículos.

El personal encargado del mantenimiento del paso debe estar capacitado para conocer las especies para las que fue diseñado el paso y llevar en práctica los procedimientos establecidos en el plan de mantenimiento, el cual se desarrolla en la fase de proyecto. ^{Ref.7}



Fig. 4-22 Paso situado en un terreno llano, con rampas de ligera pendiente. Foto: P. Farkas.



Fig. 4-23 Paso inferior específico para cangrejos en el Parque Nacional Christmas Island, en Aunstralia.

4.8.3 PASO INFERIOR MULTIFUNCIONAL

En la actualidad muchos pasos agrícolas o pecuarios pueden servir también para el tránsito seguro de fauna silvestre, al mismo tiempo que son utilizados ocasionalmente como caminos rurales. Adaptarlos para que cumplan todas estas funciones resulta de bajo costo en especial si lo comparamos con los puentes para uso exclusivo de fauna silvestre.

Es importante señalar que este tipo de pasos son recomendados para vías de baja intensidad de tránsito. Ref. 7 y Ref. 8



Fig. 4-24 Puente situado sobre una línea de ferrocarril de alta velocidad cerca de Oberderdingen, Alemania.

Foto: B. Georgii.

Uso: mixto

Especies que pueden usarlo

- Principalmente ungulados y grandes carnívoros.
- Mamíferos medianos y pequeños.
- Reptiles e invertebrados.
- No es recomendable para anfibios por la aridez de su superficie.
- Puede servir para orientar el vuelo de aves y murciélagos.

Características geométricas

- Ancho mínimo: 10 m
- Ancho recomendado: 20-50 m
- Relación mínima ancho/longitud: 0.8
- Ancho mínimo de las bandas laterales vegetadas: 1 m
- Altura de las pantallas laterales: 2 m
- En terrenos llanos los accesos serán rampas con una pendiente máxima de 15% y en zonas montañosas la pendiente máxima será de 25%. Ref. 7

Acondicionamientos

La distribución de la franja vegetada y la vehicular puede ser de dos formas:

- Situar la franja vehicular en el centro de la estructura, siendo las franjas laterales destinadas para el paso de animales.
- Destinar una franja lateral para el uso vehicular y la otra para el paso de fauna, siendo esta última del mayor ancho posible.

No se instalarán bordillos ni ningún otro elemento para delimitar las secciones de la estructura, por el contrario, se procurará que la transición entre una franja y otra sea lo más natural posible.

En zonas áridas donde no resulte viable mantener vegetación, se recomienda colocar troncos o rocas que sirvan de resguardo para especies pequeñas.

Para la revegetación de las franjas destinadas al paso de fauna se deberán plantar especies autóctonas de los hábitats y de ser posible plantar arbustos y especies herbáceas.

El grosor mínimo de tierra para plantación de herbáceas es de 0.3 m y para plantar arbustos es de 0.6 m.

Para mejorar su efectividad es muy importante que la franja destinada al tránsito vehicular no sea pavimentada y que en los laterales del puente se instalen pantallas opacas que disminuyan las molestias de ruido y luz de los vehículos que pasan por la infraestructura principal. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.

Cerramiento perimetral

Será instalado de acuerdo a las especificaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*, establecidas en el subtema 4.8.1. ECODUCTO.

Mantenimiento

Durante los primeros años, realizar riegos periódicos para garantizar la sobrevivencia de la vegetación implantada. Ya habiendo logrado este objetivo, se debe cuidar de podar con relativa frecuencia el centro del paso de modo que la vegetación no crezca de forma descontrolada e impida el paso a los animales.

Realizar reparaciones en el cerramiento perimetral y en otros desperfectos observados. ^{Ref. 7}

4.8.4 PASO ENTRE ÁRBOLES

Al igual que las estructuras descritas anteriormente, también se trata de un puente pero en este caso los apoyos están constituidos por árboles o bien por postes y la senda que deben de recorrer los animales es una cuerda, un cable o una plataforma elevada que conecta los apoyos a cada lado de la infraestructura vial.



Fig. 4-25 Paso entre árboles en la Ruta del Sol del municipio Aguachica en César, Colombia.

No es recomendado utilizar este tipo de pasos en zonas donde es aplicable normativa para evitar la propagación de incendios forestales en donde se especifica que no debe de existir continuidad entre las copas de los árboles localizados en los márgenes de la vía y los hábitats adyacentes. Ref. 7 y Ref. 8

Uso: Exclusivo para fauna

Especies que pueden usarlo

Todo tipo de arborícolas como son: ardillas, monos y marsupiales.

Características geométricas

- Para el paso de ardillas, el diámetro de la cuerda debe ser entre 4 y 10 cm.
- Un tipo de paso entre árboles consiste en una plataforma con forma de escalera, ya sea de madera o una cuerda trenzada, con un ancho mínimo de 30 cm.

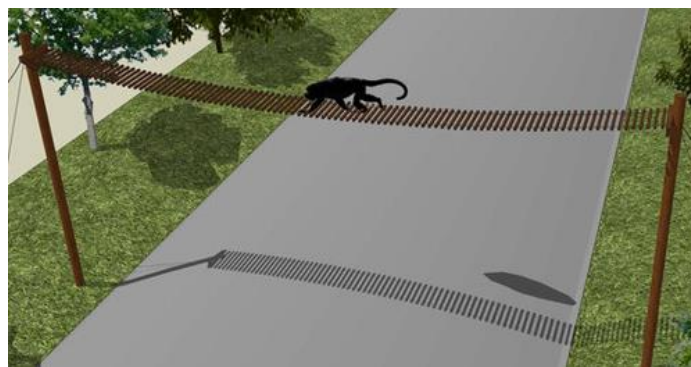


Fig. 4-26 Estructura general de un paso sobre árboles.

- Otra configuración es instalar dos cables de acero y entre ellos colocar una red de 20-30 cm de ancho, como se muestra en la figura.

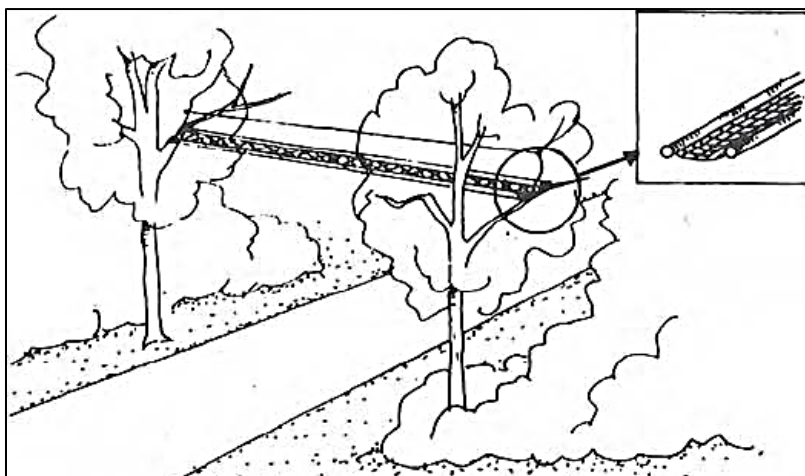


Fig. 4-27 Paso compuesto por una plataforma de red suspendida mediante dos cables de acero (Ref. 8)

- Incluso el paso puede tener una plataforma firme como si fuera un puente colgante.



Fig. 4-28 Paso con plataforma firme.

Construcción

En caminos rurales y en vías férreas, la distancia entre los árboles de los márgenes de la vía es muy corta, en esta situación los animales pueden desplazarse entre las copas sin mucha dificultad. Cuando la separación de las copas de los árboles a los costados de la vía es un poco mayor, es necesario unirlas por medio de una cuerda, cable o plataforma instalada entre las ramas.

En el caso de autopistas de alta capacidad en donde es muy grande la distancia entre los árboles de los márgenes de la vía, conviene diseñar e instalar estructuras más estables y resistentes, por ejemplo: dos cables de acero que sostienen una pequeña plataforma al centro y que a su vez están anclados a postes.

Es recomendable que el paso esté fuera del alcance de depredadores, por ello es conveniente colocar una cuerda fija adicional al paso, con la intención de evitar ataques de aves rapaces a los animales que utilizan el paso.

Otra solución para el caso de vías muy anchas es aprovechar el señalamiento tipo puente y adaptarle estructuras que lo conecten con los árboles más cercanos a él. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

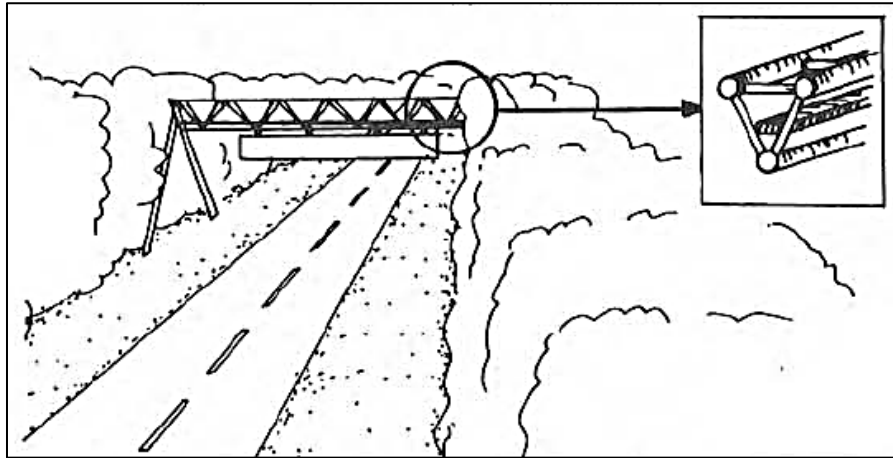


Fig. 4-29 Ejemplos de adaptación de un panel de señalamiento. Dibujo: Ref. 8. Foto: H. Bekker

Mantenimiento

Inspecciones periódicas para detectar desgaste en los elementos y reemplazarlos en caso de ser necesario. ^{Ref. 7}

4.8.5 VIADUCTO ADPATADO

Se recomienda la construcción de esta estructura cuando el trazo de la carretera, autopista o vía férrea atraviese vallados o un valle fluvial, donde además se concentran rutas de desplazamientos de muchos animales.

Pero ¿por qué un construir un viaducto en vez de un terraplén? Aunque la construcción de un terraplén representa una alternativa de menor costo a corto plazo, el impacto de la fragmentación de hábitat que generan es muy alto en comparación de un viaducto sostenido sobre columnas. Por el contrario, el viaducto adaptado está diseñado de tal

modo que invada lo menos posible el ecosistema, permitiendo que no se interrumpa la comunicación de hábitats en toda la longitud del viaducto, al mismo tiempo que se procura no alterar el curso natural de río. Lo anterior compensa los beneficios a corto plazo.

Por su diseño se le considera un paso inferior de fauna. Ref. 7 y Ref. 8



Fig. 4-30 Viaducto cuyo soporte son columnas delgadas que procuran invadir al mínimo el terreno natural.

Uso: Mixto

Especies que pueden utilizarlo: principalmente ungulados, pero también beneficia a el resto de especies terrestres, así como acuáticas y semiacuáticas.

Características geométricas

- La longitud del viaducto estará en función de las condiciones hidráulicas. La extensión del viaducto cubrirá la vegetación de la ribera y 10 metros más en cada uno de los márgenes del curso fluvial.
- La distancia mínima entre las columnas del viaducto y la vegetación de la ribera será de 5 m, con la finalidad de alterar lo menos posible los hábitats naturales.
- Altura de las columnas del viaducto: 5 m si están en zona de arbustos y herbáceas y 10 m si se encuentran en un entorno forestal.
- En el caso de vías de cuerpos separados se recomienda dejar una amplia separación entre ellos, para permitir el paso de luz y agua de lluvia al terreno situado debajo del viaducto. Así mismo hay que evitar dejar pequeños huecos entre ambos cuerpos porque generan un incremento de ruido en las superficies situadas bajo el viaducto.

Ref. 7

Construcción

Durante la construcción debe evitarse al máximo la alteración de los hábitats existentes, por lo que es obligatoria la restauración de la vegetación destruida en la construcción. Cuando el viaducto atraviese ríos, debe asegurarse la continuidad de la vegetación ribereña y aquella que se interrumpió por inundación temporal.

Para que la presencia del viaducto dañe lo menos posible el hábitat situado debajo de él, su soporte debe ser por medio de columnas, nunca como terraplén.

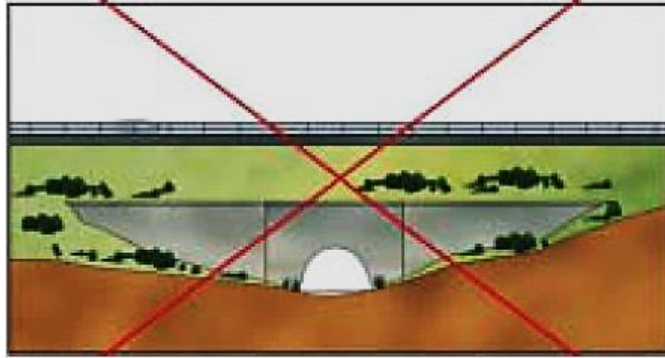


Fig. 4-31 Este tipo de estructura es menos adecuada que un viaducto para el cruce de valles fluviales pues impiden la conectividad de los hábitats. (Ref. 7)

Cuando el trazo de los cursos fluviales sea modificado para la construcción del viaducto, se debe realizar una restauración procurando que tenga un aspecto lo más natural posible y dejando espacio en los márgenes para permitir el desplazamiento de especies semiacuáticas.

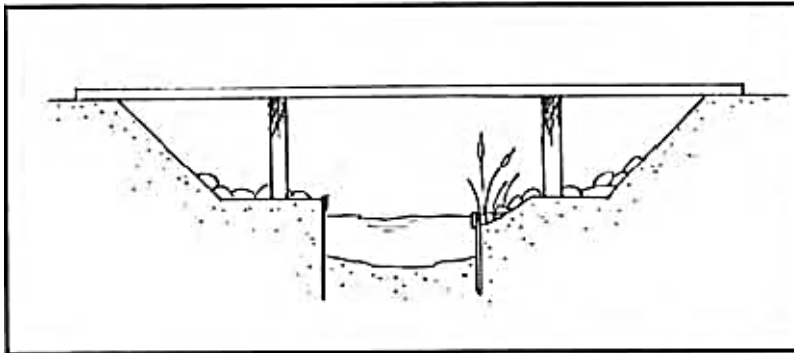


Fig. 4-32 Adaptación de taludes en los márgenes de un río que cruza bajo un viaducto (Ref. 8)

Para minimizar las alteraciones a los hábitats durante la construcción, se pueden utilizar técnicas constructivas como losa empujada y voladizos sucesivos.

Pueden instalarse grandes bloques de roca bajo el viaducto si existe riesgo de que sea invadido por la actividad humana.

Se evitará trazar infraestructura vial bajo los viaductos adaptados al paso de fauna. Esta situación se puede aceptar sólo en el caso de que el viaducto tenga una gran extensión

que permita la presencia de una vía bajo tránsito, la cual estará oculta a los sectores destinados al paso de fauna por medio de pantallas vegetales densamente plantadas.

Los caminos de obra que se establezcan durante el proceso constructivo, no deben bloquear la comunicación de hábitats. Al finalizar la construcción del viaducto deben ser restaurados los sectores utilizados como caminos de obra.

Instalación de cerramiento perimetral. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.

Cerramiento perimetral

Será instalado de acuerdo a las especificaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*, establecidas en el subtema 4.8.1. ECODUCTO.

Mantenimiento

Se debe hacer una supervisión periódica en el área bajo el viaducto para comprobar que no haya obstáculos que impidan el paso de animales o para identificar la presencia de usos indebidos, entre los más comunes están: zonas de estacionamiento de maquinaria, depósito temporal de material agrícola o de construcción y caminos rurales clandestinos.

Revisión del cerramiento perimetral, reparando los desperfectos encontrados. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

4.8.6 PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA GRANDES MAMÍFEROS

Este tipo de pasos son ideales para comunicar hábitats separados por infraestructura vial construida sobre terraplén.

A diferencia de los viaductos adaptados, los cuales son medidas preventivas en las que se planea evitar la fragmentación de hábitats, los pasos superiores son estructuras con un propósito correctivo pues se construyen en situaciones en donde una vía de transporte se extiende a través de un terraplén que está interrumpiendo la continuidad de un ecosistema.^{Ref. 7 y Ref. 8}



Fig. 4-33 Paso superior en Nairobi, Kenia.

Uso: exclusivo para fauna.

Especies que pueden utilizarlo: Principalmente ungulados y grandes mamíferos, pero también resulta útil para el resto de las especies terrestres. Si existe suficiente humedad en el ambiente y se tiene cerramiento perimetral también puede ser aprovechado por especies semiacuáticas como los anfibios.

Características geométricas

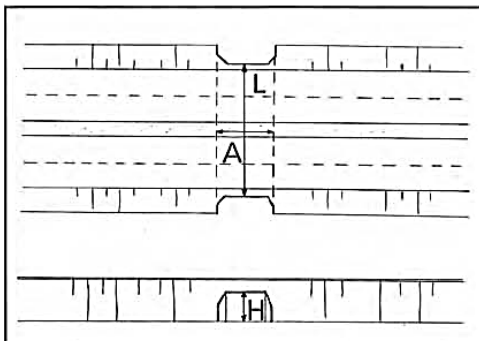


Fig. 4-34 Diagrama de los elementos geométricos: ancho (A), longitud (L) y altura (H).
Ref. 8

- Altura mínima: 3.5 m
- Ancho mínimo: 15 m
- Su longitud deberá ser la mínima posible, la cual no deberá exceder los 70 m y se deben construir de forma perpendicular a la vía que atraviesan.
- Si por el paso transitarán animales de tamaño mediano como jabalís o grandes carnívoros por ejemplo lobos o jaguares, el ancho mínimo debe de ser de 7 m y su índice de apertura será de $(a \times h/l) > 0.75$
- Pero si el paso será utilizado por ungulados, se recomienda que el ancho mínimo sea de 12 m y su índice de apertura sea de $(a \times h/l) > 1.5$ ^{Ref. 7}

Construcción

Se deben ubicar en zonas donde se hayan identificado rutas de desplazamiento habitual de las especies de referencia. Cuando no sea posible construir los pasos en las zonas de desplazamiento habitual, se deberá de encauzar a los animales hacia el paso con ayuda de vallados y estructuras vegetales. Otra ubicación recomendada es en zonas donde

discurren pequeños arroyos que pueden ayudar a conducir a los animales hacia el paso, teniendo especial cuidado de no elegir un cauce fluvial cuyo nivel aumente hasta el punto de inundar por completo el paso y sus cercanías.

Las estructuras más comunes en su construcción son: pórtico y bóveda, de esta última se pueden instalar accesos tipo puente falso.

El paso deberá tener un buen drenaje para evitar que se inunde en temporada de lluvias, pero si se prevén temporadas de inundación temporal, es necesario que en la base de la estructura queden franjas secas de mínimo 1 metro de ancho por donde puedan transitar las especies.

Los accesos al paso superior deben estar al mismo nivel que los terrenos adyacentes al mismo y no debe presentar objetos que obstaculicen el tránsito de los animales.

El suelo del paso superior debe ser de tierra vegetal, nunca superficies pavimentadas ni rellenos de gravas ni arenas. El terreno de los accesos puede tener vegetación local, pero resulta inviable que en el interior del paso se pretenda mantener vegetación, en su lugar se dispondrán tocones de árbol, ramas secas y rocas, todo esto se instalarán en forma de hilera con el propósito de que sirva de refugio para animales pequeños. También se recomienda que en la vía que opera sobre el terraplén, se instalen pantallas opacas, para minimizar las molestias de ruido e iluminación a los animales, aumentando así la eficacia del paso.



Fig. 4-35 Esquema general de un paso superior específico (Ref. 7)

Es conveniente la instalación de vallados que conduzcan a la fauna hacia el paso. En el caso de que los accesos del paso superior tengan una estructura de falso túnel, será necesario colocar vallado alrededor de la estructura de acceso, con el fin de evitar que algunos animales escalen el acceso, entren a los taludes y se dirijan hacia la carretera.

Ref. 7 y Ref. 8

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.

Cerramiento perimetral

Será instalado de acuerdo a las especificaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*, establecidas en el subtema 4.8.1. ECODUCTO.

A continuación un ejemplo de lo que no se debe de hacer en el cerramiento de este tipo de pasos.



Fig. 4-36 Incorrecta instalación de vallado: no se ha completado el cerramiento encima del paso, permitiendo el acceso de animales a los taludes. Foto: C. Rosell

Mantenimiento

Se deben hacer inspecciones periódicas para comprobar que el paso se mantenga según las condiciones de diseño, en donde los puntos a observar son:

- El estado de drenaje: Verificando que el paso se encuentre seco o si se esperan inundaciones temporales, comprobar que se mantengan secas las franjas que se destinaron para el traslado de animales en tiempos de inundación.
- Cercado: Constatar que se encuentra en óptimas condiciones y de no ser así, reparar los desperfectos.
- Retirar basura que se encuentre en la zona alrededor del paso, en los accesos y dentro del paso y tener en cuenta que estos hallazgos indican presencia humana y posibles usos indebidos del paso.
- Identificar usos indebidos por ejemplo, como depósito de materiales o estacionamiento de maquinaria o vehículos. Ref. 7 y Ref. 8

4.8.7 PASO SUPERIOR MULTIFUNCIONAL

Se denominan multifuncionales porque son estructuras que originalmente fueron planeadas como pasos peatonales y/o vehiculares pero con el tiempo han sido adaptados para otros usos simultáneos como: drenaje, paso pecuario, canal y por supuesto paso de fauna.

En el caso de que por ellos pase un camino rural, se procurará que sea de bajo tránsito y que en general la presencia humana sea casi inexistente pues de ello depende su funcionalidad como paso de fauna. ^{Ref.7 y Ref.8}



Fig. 4-37 Restitución de un camino forestal compatible con el paso de fauna silvestre. Foto: B. Wandall.

Uso: Mixto

Especies que pueden utilizarlo: Principalmente ungulados y grandes mamíferos, pero también resulta útil para el resto de las especies terrestres. Si existe suficiente humedad en el ambiente y se tiene cerramiento perimetral también puede ser aprovechado por especies semiacuáticas como los anfibios.

Características geométricas

- Altura mínima: 3.5 m
- Ancho mínimo: 15 m
- Su longitud deberá ser la mínima posible, la cual no deberá exceder los 70 m y se deben construir de forma perpendicular a la vía que atraviesan.
- Si por el paso transitarán animales de tamaño mediano como jabalís o grandes carnívoros por ejemplo lobos o jaguares, el ancho mínimo debe de ser de 7 m y su índice de apertura será de $(a \times h/l) > 0.75$
- Pero si el paso será utilizado por ungulados, se recomienda que el ancho mínimo sea de 12 m y su índice de apertura sea de $(a \times h/l) > 1.5$ ^{Ref. 7}

Construcción

El uso conjunto de los pasos superiores por las personas (los peatones y el tránsito) y la fauna sólo se recomienda en los pasos que tengan una anchura superior a los 10 m. también es posible adaptar pasos más pequeños, si su longitud no supera los 25-30 m. Sin embargo, los pasos superiores por los que fluye un arroyo o cauce fluvial son los más recomendados para adaptarse como pasos de fauna. ^{Ref. 8}

Las estructuras más comunes en su construcción son: pórtico y bóveda, de esta última se pueden instalar accesos tipo puente falso. Los marcos son menos adecuados porque no permiten conservar el sustrato natural.



Fig. 4-38 Paso superior multifuncional en falso túnel, de la empresa GINPROSA INGENIERÍA.

El paso deberá tener un buen drenaje para evitar que se inunde en temporada de lluvias, pero si se prevén temporadas de inundación temporal, es necesario que en la base de la estructura queden franjas secas de mínimo 1 metro de ancho por donde puedan transitar las especies.

Se recomienda no pavimentar las carreteras en el tramo que discurre por el interior de los pasos superiores. En caso de que no sea posible, una franja de tierra en ambos márgenes de la carretera aumentará las posibilidades de que los animales utilicen el paso. ^{Ref.8}



Fig. 4-39 Ejemplo de malas prácticas: En este caso la escollera dificulta el paso de fauna. Foto: F. Navàs.

No se instalarán bordillos ni elementos de separación entre el área destinada al paso de fauna y la carretera, por lo que la transición entre ambos sectores será lo más natural posible. Fig. 4-39

Si la infraestructura vial que discurre por encima del paso tiene una alta intensidad de tránsito, es necesario instalar pantallas opacas en sus márgenes para minimizar el ruido y las molestias ocasionadas por la iluminación de los vehículos.

Se instalará cerramiento perimetral unido a los accesos del paso, con la finalidad de canalizar a los animales hacia el paso.

Cerramiento perimetral

Será instalado de acuerdo a las especificaciones del *vallado perimetral para grandes mamíferos*, establecidas en el subtema 4.8.1. ECODUCTO.

Mantenimiento

Deberá asegurarse la correcta instalación de vallado perimetral y se supervisará su uso con el fin de detectar desperfectos y repararlos lo antes posible. ^{Ref. 7}

4.8.8 PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS

Este tipo de pasos se construirán en tramos donde sea necesario aumentar la permeabilidad para pequeños y medianos vertebrados, preferentemente donde existan rutas de desplazamiento habitual de fauna o bien, donde existe alta mortalidad de individuos de determinada especie asociada a la infraestructura vial.

Ref.7 y Ref.8



Fig. 4-40 Paso superior para pequeños vertebrados. Foto: Llorente y Díez.

Uso: Exclusivo para fauna.

Especies que pueden utilizarlo: Carnívoros de tamaño mediano y pequeño como mustélidos (nutrias, marmotas, hurones), otros vertebrados como lagomorfos (conejos, liebres), micromamíferos (roedores), reptiles y algunos anfibios si hay suficiente humedad y se instalan los cerramientos adecuados.

NO es recomendado para ungulados ni para grandes carnívoros.

Características geométricas

- Para estructuras tubulares se tiene un diámetro mínimo de 1.5 m.
- Para estructuras rectangulares las dimensiones mínimas son: 2 x 2m.
- Su longitud deberá ser la mínima posible, la cual no deberá exceder los 70 m y se deben construir de forma perpendicular a la vía que atraviesan. ^{Ref. 7}

Construcción

Se construirán en tramos donde la infraestructura de transporte discurra sobre terraplén, pero también es posible construirlos cuando la vía está a nivel de la superficie, elevando la rasante de la carretera o de la vía férrea.

Las estructuras rectangulares se recomiendan para infraestructuras en construcción y son preferibles para anfibios, a los cuales las paredes verticales les sirven de guía.

En el caso de infraestructura vial en operación es preferible utilizar estructuras de sección circular por su bajo costo y por su facilidad de instalación.

Se deben evitar las estructuras tubulares de acero corrugado porque son rechazadas por algunas especies como conejos y zorros, a menos que su base sea recubierta con sustrato natural o con concreto, pero es preferible que la base sea lo más natural posible.

Se pueden utilizar elementos prefabricados, procurando que las uniones de los elementos no generen irregularidades en la base.

El paso deberá tener un buen drenaje para evitar que se inunde en temporada de lluvias, pero si se prevén temporadas de inundación temporal, es necesario que en la base de la

estructura queden franjas secas de mínimo 60 centímetros de ancho por donde puedan transitar las especies.

Si la infraestructura vial que discurre por encima del paso tiene una alta intensidad de tránsito, es necesario instalar pantallas opacas en sus márgenes para minimizar el ruido y las molestias ocasionadas por la iluminación de los vehículos.

Se debe evitar el trazo de carreteras perpendiculares al acceso del paso en terrenos adyacentes.

No debe haber presencia de obstáculos en los accesos del paso, pero se recomienda que en el interior del paso existan elementos de refugio como rocas o troncos que puedan ser utilizados por especies pequeñas. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

Antes de poner en operación el paso es necesario instalar un correcto cerramiento perimetral que maximice su éxito.

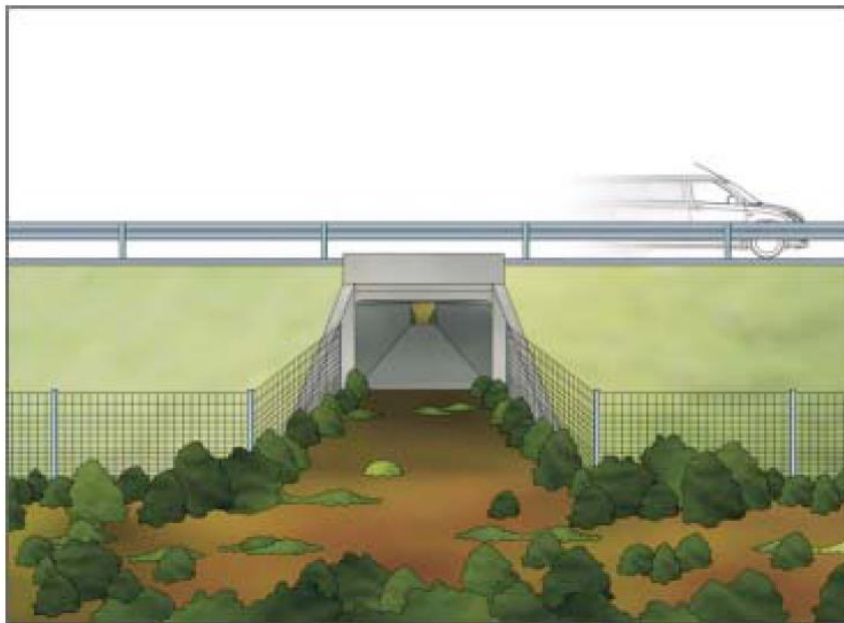


Fig. 4-41 Esquema general de un paso superior específico para pequeños vertebrados. (Ref. 7)

Vallados perimetrales para pequeños vertebrados

En realidad se trata de un cercado adicional al ya existente para especies de gran tamaño, el cual consiste en una malla cuya separación entre alambres es más reducida (2x2 cm) impidiendo así que especies de menor tamaño como micromamíferos o reptiles atraviesen el cerramiento perimetral. De no existir este “cercado en pequeña escala” el paso de fauna pierde efectividad para pequeñas especies y no hay nada que impida su camino hacia una muerte segura en la calzada.

El material idóneo para los vallados destinados a pequeños vertebrados es la malla electrosoldada rígida, las mallas ciclónicas no son recomendadas para este tipo de vallado porque se deforman con mayor facilidad.

La instalación de la malla será enterrándola 20 cm, con la intención de que los animales no puedan evadirla cavando. Al igual que las mallas para grandes mamíferos, si el

cerramiento pasa por una cuneta, se debe procurar su extensión lo más pegada a la cuneta para impedir que sea el medio de evasión de la malla.

La altura de la malla varía entre 40 y 60 cm dependiendo las especies que tendrá que contener y redirigir.

Se recomienda doblar la malla en sus últimos 5 cm superiores con un ángulo de 45° hacia el interior, esto con el fin de evitar que los animales que hayan decidido trepar, puedan superar el obstáculo. ^{Ref. 7}

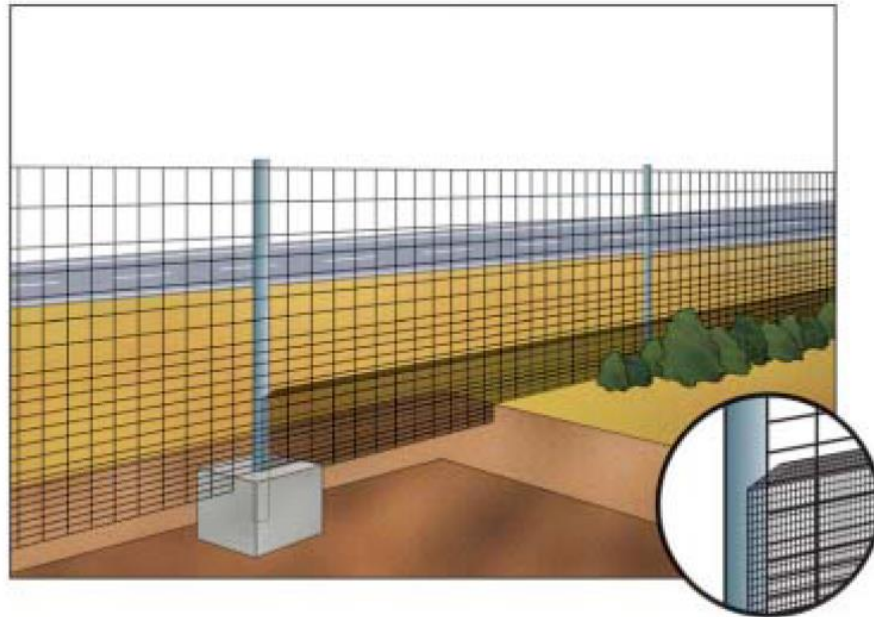


Fig. 4-42 Esquema general del vallado donde se destaca la presencia de malla de refuerzo para impedir el paso de pequeños vertebrados, adosada a la base de un cerramiento para grandes mamíferos. (Ref. 7)



Fig. 4-43 Instalación de un refuerzo en la parte exterior de la malla convencional. Foto: C. Rosell.

Mantenimiento

Deberá asegurarse la correcta instalación de vallado perimetral y se supervisará su uso con el fin de detectar desperfectos y repararlos lo antes posible.

Retirar basura que se encuentre en la zona alrededor del paso, en los accesos y dentro del paso y tener en cuenta que estos hallazgos indican presencia humana y posibles usos indebidos del paso. ^{Ref. 7}



Fig. 4-44 Paso superior para pequeños vertebrados en el Parque Nacional de Doñana, Andalucía, España.



Fig. 4-45 Paso superior de estructura tubular, en Finlandia.

4.8.9 DRENAJE ADAPTADO PARA ANIMALES TERRESTRES

Los conductos destinados al drenaje pueden ser adaptados como paso de fauna terrestre y sugieren una opción eficiente para mitigar el efecto de la fragmentación de hábitats ocasionada por la construcción de infraestructura vial.

Las adaptaciones necesarias dependerán principalmente de las condiciones hidráulicas, por ejemplo: si en el drenaje discurre un arroyo permanente o si la zona se encuentra inundada en determinadas temporadas del año, así como el nivel máximo de agua que alcanza en el drenaje.

Otro factor importante a considerar es: las especies a las que está dirigido el paso, porque dependiendo el tamaño de los individuos se establecerán las dimensiones del paso y de los sectores secos del mismo. ^{Ref.7 y Ref.8}



Fig. 4-46 Drenaje prefabricado en la Autopista A35 en Holanda, con plataformas laterales integradas que son utilizadas para el paso de pequeños animales. Foto: G. Veenbaas.

Uso: Mixto; paso de fauna y drenaje.

Especies que pueden utilizarlo: Carnívoros de tamaño mediano y pequeño como mustélidos (nutrias, marmotas, hurones), otros vertebrados como lagomorfos (conejos, liebres), micromamíferos (roedores), reptiles y algunos anfibios si hay suficiente humedad y se instalan los cerramientos adecuados.

Pueden utilizarlo ungulados y grandes carnívoros si se tienen las dimensiones señaladas en el subtema *4.8.8 PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS*.

Características geométricas

- Las estructuras más susceptibles de ser adaptadas como paso de fauna son:
 - Estructura rectangular: mínimo de 2 x 2 m
 - Estructura circular: diámetro mínimo de 2 m
- Ancho mínimo de las banquetas laterales: 0.5 m, su altura dependerá del nivel máximo de inundación.
- Las rampas de acceso a las banquetas laterales tendrán una pendiente entre 30° y 45° y tendrán una superficie rugosa para proporcionar a los animales una base a la que adherirse. ^{Ref.7}

Adaptación del interior de los drenajes

Se debe evitar el uso de conductos circulares de acero corrugado, de no ser posible, la base del drenaje debe ser recubierta con concreto u otro material que permita que los animales se desplacen de manera cómoda.

Si un drenaje se va a adaptar como paso de fauna es indispensable que en su interior exista al menos una banqueta o plataforma que permita al individuo desplazarse a lo largo

del conducto sin mojarse. La sección transversal del arreglo A en la Fig. 4-48 no es adecuado para estos fines.

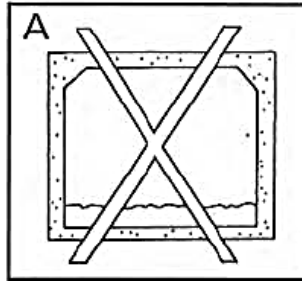


Fig. 4-47 Arreglo A: La estructura sólo cumple con la función de drenaje pero es ineficiente como paso de fauna pues carece de sectores secos para el desplazamiento de animales terrestres. (Ref. 8)

Cuando se piensa canalizar pequeñas corrientes de ríos y al mismo tiempo se quiere mantener seca la mayor parte del drenaje, resulta más conveniente utilizar una sección cuyas pendientes coincidan hacia el centro como en el arreglo B (Fig. 4-49), o bien en se puede realizar una zanja en el centro de la base del drenaje, dando origen a banquetas laterales como se ilustra en el arreglo C (Fig. 4-50).

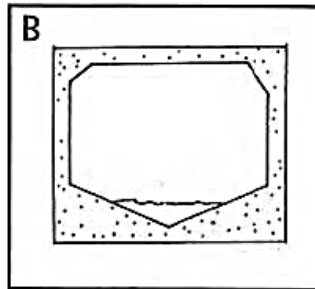


Fig. 4-48 Arreglo B. (Ref. 8)

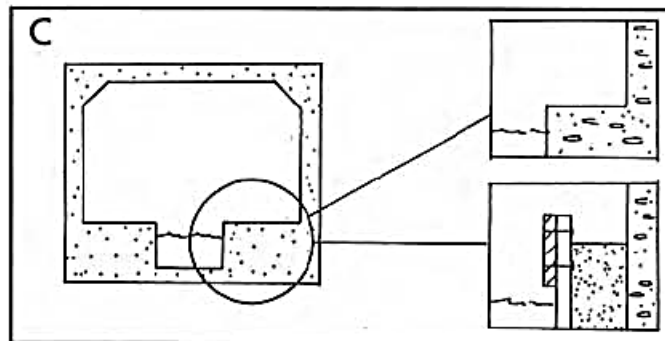


Fig. 4-49 Arreglo C. (Ref. 8)

Si la corriente que discurrirá a través del drenaje es permanente y tiene un caudal más significativo, se deben instalar banquetas laterales o plataformas elevadas por encima del nivel del agua ancladas a las paredes o a la parte superior del drenaje, con el propósito que permanezcan secas y sean utilizadas por la fauna terrestre, por ejemplo como lo

muestra el arreglo D (Fig. 4-51). El drenaje puede tener una o dos banquetas, pero estas siempre estarán conectadas a los hábitats por medio de rampas de acceso (Fig. 4-52), de otro modo el paso será inaccesible para las especies. Si se construirán drenajes prefabricados de sección rectangular, es posible que en su diseño se incluyan las banquetas laterales, como es el caso de la Fig. 4-47.

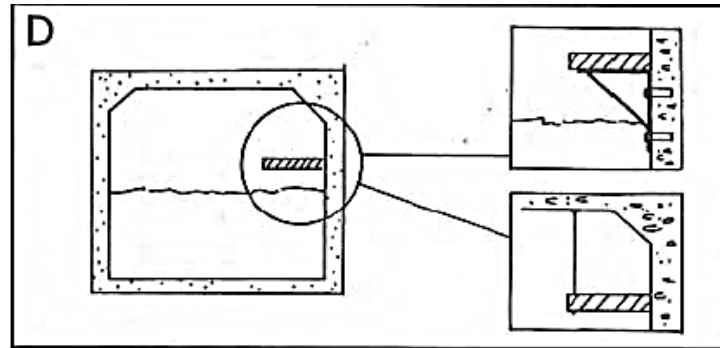


Fig. 4-50 Arreglo D: con 2 alternativas de soporte para la plataforma lateral. (Ref. 8)



Fig. 4-51 Ejemplo de drenaje adaptado para paso de fauna. Nótese la comunicación de las plataformas con las rampas de acceso. Foto: C. Rosell.

Pero estas alternativas de diseño no son las únicas, por ejemplo en la Fig. 4-53 se muestran otras sugerencias como son: Construir un canal central de sección trapezoidal en la base del drenaje, emplear el arreglo C en donde el canal central sea lo suficientemente amplio para que fluya el caudal de agua esperado pero que también permita la presencia de las banquetas laterales. Dejar intacta la sección transversal del drenaje pero construir pequeños conductos a los lados del mismo y finalmente: Destinar la mitad de la sección del drenaje para el paso libre del agua y la otra mitad con pendiente que permita el paso de animales por uno de los márgenes del drenaje.

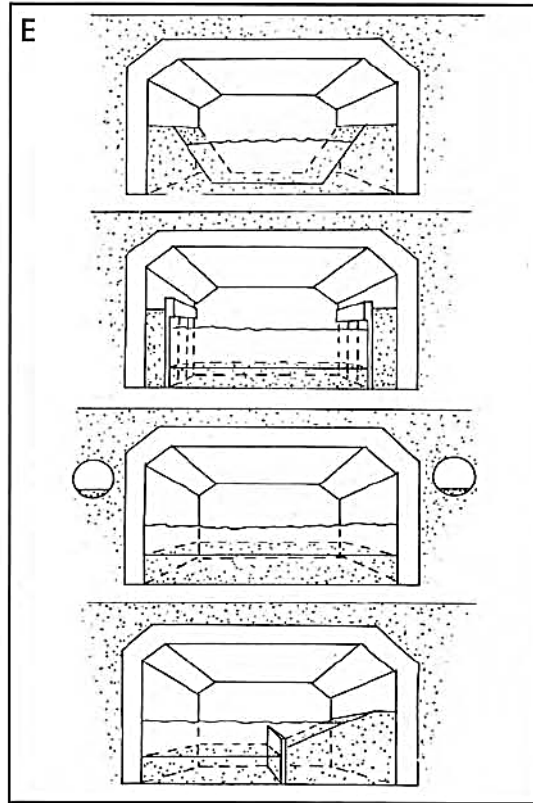


Fig. 4-52 Diferentes alternativas de diseño para facilitar pasos secos en drenajes permanentemente inundados. (Ref. 8)

Para que todos los tipos de paso de fauna funcionen no deben de existir dificultades para que los animales lleguen al paso, lo utilicen y retornen de manera segura a su hábitat. ^{Ref. 8}

Motivo por el cual hay situaciones que se deben evitar, por ejemplo:

- Falta de accesos que conecten con las banquetas laterales del paso. Fig. 4-54
- Estructuras que al salir del paso dificulten el retorno de los animales al entorno. Fig. 4-55
- Accesos escalonados: representan una trampa para animales terrestres y acuáticos. Fig. 4-56



Fig. 4-53 Ejemplo 1 de malas prácticas: Falta de rampas que conecten las franjas secas con las zonas adyacentes. Foto: F. Navàs.



Fig. 4-54 Ejemplo 2 de malas prácticas: las paredes de la acequia dificultan el retorno de los animales al entorno.
Foto: F. Navàs.



Fig. 4-55 Ejemplo 3 de malas prácticas: Bajante escalonado que constituye una trampa para la fauna.
Foto: F. Navàs.

Antes de poner en operación el paso es necesario instalar un correcto cerramiento perimetral que maximice su éxito.

Vallados perimetrales

El cerramiento se debe hacer de acuerdo a las especificaciones para vallados perimetrales para pequeños vertebrados, contenido en el subtema 4.8.8 *PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS*.

Mantenimiento

Deberá asegurarse la correcta instalación de vallado perimetral y se supervisará su uso con el fin de detectar desperfectos y repararlos lo antes posible.

Se programarán limpiezas periódicas para retirar obstáculos que pudieran presentarse, especialmente después de épocas de avenidas. Ref. 7 y Ref. 8

4.8.10 DRENAJE ADAPTADO PARA PECES

Entre las estructuras que se pueden adaptar para el paso de animales acuáticos se incluyen viaductos, presas y drenajes. Aunque todas las estructuras con un curso de agua permanente se pueden adaptar como pasos para peces y otros animales acuáticos a un costo relativamente bajo, este trabajo sólo estará dirigido a los drenajes porque se encuentran mayormente relacionados a las vías de transporte terrestre.

Las adaptaciones de drenaje ya existente resultan complicadas por lo que es preferible reemplazar la tubería existente por una especialmente diseñada para reestablecer la conexión para peces. Dicha conexión debe permitir su cómodo desplazamiento tanto en dirección del flujo como en contracorriente. ^{Ref. 8}



Fig. 4-56 Alcantarilla reconstruida en el Parque Nacional de Umpqua, Oregón, E. U.

No serán adaptables estructuras que tengan pozos, arqueta o bajantes escalonadas en sus accesos ni aquellas que tengan escalones y tabiques en su interior. ^{Ref. 7}

Uso: Mixto; paso de fauna y drenaje.

Especies que pueden utilizarlo: Peces y otras especies acuáticas.

Características geométricas

- La adaptación sólo se recomienda en estructuras que tengan una pendiente inferior a 30°.
- Profundidad mínima del agua: 20 cm. Este es un valor general pues depende de las especies que transitarán y del contexto local, por lo que se debe consultar a expertos en las especies y ecosistema del lugar.
- Deberá evitarse desniveles en los accesos del paso y dentro de él, pues saltos entre 5-10 cm son suficientes para restringir el camino a algunas especies o a aquellos individuos jóvenes. ^{Ref. 7}
- Para que el ancho del curso fluvial pueda ser simulado en el interior de una estructura de drenaje debe tener un ancho inferior a 10 m. Si el curso es más ancho, debe optarse por la construcción de un viaducto. ^{Ref. 8}

Adaptación del interior de los drenajes

Por ningún motivo el paso debe de quedar a un nivel superior al lecho del curso fluvial, porque si es muy alto representa un obstáculo del que pocos individuos podrán sortear (Fig. 4-57). Otro factor a considerar es la profundidad de la lámina de agua porque si tiene poca profundidad resulta un riesgo para los peces (Fig. 4-58).

Preferentemente las estructuras destinadas al paso de fauna acuática serán de sección abierta (pórtico y bóveda), de modo que permitan mantener el sustrato natural. Si se trata de elementos de sección cerrada (marcos o tubos) se sobredimensionarán y se hundirán en el terreno, de modo que quede 15-20 cm bajo el nivel del lecho del curso fluvial, con la finalidad de alcanzar una profundidad segura para los peces en caso de que el nivel del agua disminuya. ^{Ref. 7 y 8} Fig. 4-59

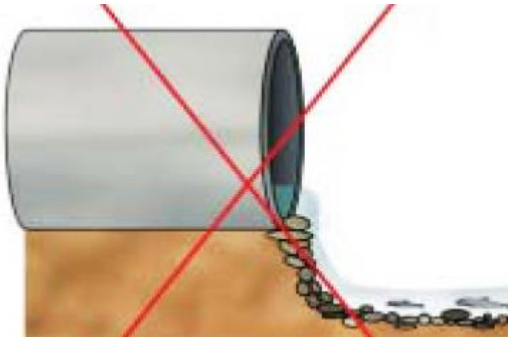


Fig. 4-57 Ejemplo 1 de malas prácticas: El desnivel resulta ser una trampa para los peces. (Ref. 7)

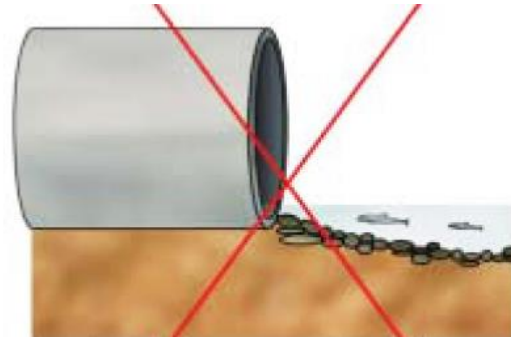


Fig. 4-58 Ejemplo 2 de malas prácticas: la poca altura de la lámina de agua dificulta el remonte de los peces. (Ref. 7)

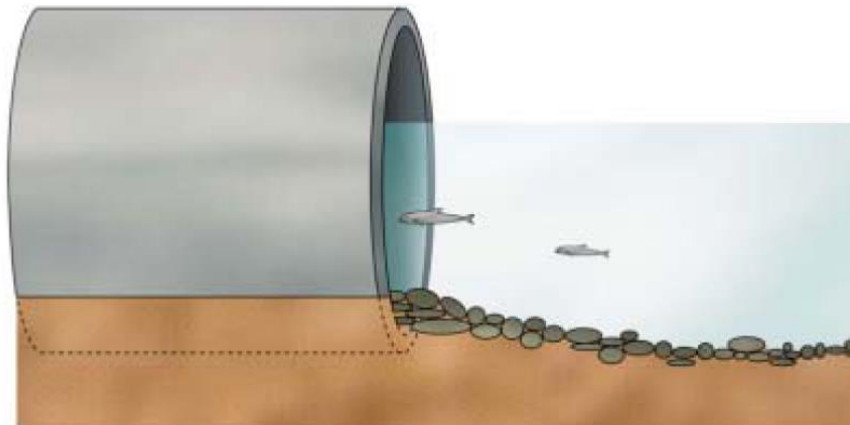


Fig. 4-59 Adecuada adaptación de un drenaje para paso de fauna acuática. (Ref. 7)

La velocidad del agua dentro del drenaje también es un aspecto importante para el buen funcionamiento como paso de fauna acuática, un ejemplo de ellos es que si tiene una velocidad excesiva, el paso se convierte en una barrera para peces jóvenes o de natación lenta y si la velocidad es demasiado alta, puede erosionar la base y los márgenes en su salida.

Por lo anterior resulta adecuado que entre más largo sea el drenaje, menor sea la velocidad del agua que discurre en su interior. Se establece que la velocidad de salida del drenaje no supere la velocidad del curso que cruza el drenaje en más de un 25% (incluso menos si la velocidad del agua es muy alta).

Si el drenaje es prácticamente llano facilitará el desplazamiento de los peces y permitirá que la corriente que pasa deposite sedimentos que crearán dentro del drenaje un lecho muy similar al del curso natural. Si la velocidad dentro del drenaje es muy alta, puede disminuirse cambiando la pendiente de su base o bien si las características de las especies que nadarán lo permite se pueden instalar chapas divisorias, con la desventaja que en épocas de estiaje se acumulan sedimentos que tienen que ser removidos con regularidad para que no entorpezcan el correcto funcionamiento del drenaje. Por tal motivo, las chapas divisorias sólo se deben construir en drenajes de mínimo 1.50 metros de altura.



Fig. 4-60 Ejemplo 3 de malas prácticas: Este drenaje en Noruega tiene dos problemas simultáneos: Su salida tiene un nivel demasiado alto en relación al curso fluvial, dicho desnivel supone una barrera para los peces que se dirigen aguas arriba. El segundo problema es la baja altura de la lámina de agua, lo cual sugiere una trampa mortal para los peces que se dirigen aguas abajo. Foto: B. Iuell



Fig. 4-62 Ejemplo 4 de malas prácticas: Drenajes situados en un badén que dificultan el paso de peces. Foto: F. Navàs.



Fig. 4-61 Ejemplo 5 de malas prácticas: Escalón en el interior del drenaje que supone un obstáculo para el movimiento de fauna acuática. Foto: J. Dufek.

Otra solución al problema de la velocidad excesiva es procurar que la base del drenaje sea lo más rugosa posible, esto se logra dándole un acabado de camino empedrado utilizando concreto y cantos del mismo curso fluvial. La ventaja de esta alternativa, además de reducir la velocidad, permite la sedimentación de depósitos que facilitan el paso de una amplia diversidad de peces.^{Ref.8}

Si por el drenaje discurren canales o acequias, deberá plantearse la posibilidad de instalarse rejas u otro sistema de retención de materiales arrastrados antes de la entrada de la estructura, donde el espacio debajo de la estructura de retención de materiales debe quedar siempre abierto para facilitar el paso de agua, a su vez que los espacios entre las rejas no deben tener menos de 20. 25 cm.^{Ref.7 y Ref.8}

Mantenimiento

Deberá asegurarse la correcta instalación de vallado perimetral y se supervisará su uso con el fin de detectar desperfectos y repararlos lo antes posible.

Se programarán limpiezas periódicas para retirar obstáculos que pudieran presentarse en zonas de canales, acequias o en sistemas de retención de materiales especialmente después de épocas de avenidas.^{Ref. 7}

4.8.11 PASOS PARA ANFIBIOS

Son pasos que permiten el desplazamiento de anfibios en ambas direcciones del paso. ^{Ref. 8}

La urgencia de construir este tipo de pasos ocurre cuando una vía de transporte intercepta las rutas de migración de los anfibios o bien cuando los individuos jóvenes se dispersan a los ambientes terrestres, provocando desplazamientos masivos de la especie a través de la carretera o vía férrea, ocasionando un gran número de atropellos. Su efectividad radica en el correcto cerramiento hacia los pasos dado que los anfibios no tienen la capacidad de orientar sus desplazamientos buscando el acceso a los pasos de fauna. ^{Ref. 7}



Fig. 4-63 Paso rectangular para anfibios en Alemania con estructuras bien delimitadas. Foto: J. Niederstrasser.

Los cerramientos consisten en una estructura que intercepta los desplazamientos de los anfibios y los conduce a los pasos, estos elementos se denominan Estructuras Guía. ^{Ref. 8}

Uso: Exclusivo para fauna

Especies que pueden utilizarlo: Principalmente anfibios pero también es eficaz para pequeños carnívoros, micromamíferos y reptiles.

Características geométricas

El ancho del paso depende de su longitud, en la tabla H se muestran las proporciones adecuadas para asegurar su efectividad:

Longitud (m):	<20	20-30	30-40	40-50
Sección AxH (m):	1x0.75	1.5x1	1.75x1	2x1.5
Diámetro (m):	1	1.4	1.6	2

Tabla 4-4 Dimensiones recomendadas en pasos para anfibios

Altura mínima del vallado: 0.4 m, pero si hay presencia de anfibios muy ágiles, puede ser hasta 0.6 m ^{Ref. 7 Ref. 8}

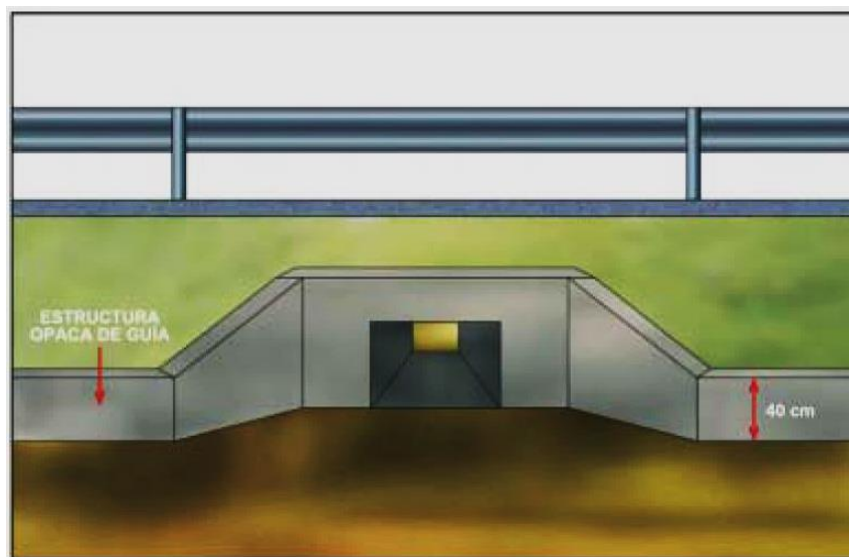


Fig. 4-64 Estructura general de un paso superior para anfibios (Ref. 7)

Construcción del paso

Pueden adaptarse estructuras circulares pero es preferible utilizar rectangulares ya que sus paredes verticales facilitan el paso para los anfibios.

Al igual que los drenajes adaptados, no deben presentar escalones ni desniveles dentro del paso ni en sus accesos.

Debe de contar con buen drenaje dado que si bien es cierto que los anfibios necesitan humedad, las láminas de agua obstaculizan su desplazamiento. ^{Ref. 7 y Ref. 8}

Instalación de las estructuras guía

Las estructuras guía estarán lo más próximas a la calzada para así asegurar que el paso tenga la menor longitud posible.

Para la instalación de estructuras guía deben de utilizarse vallas totalmente opacas y de superficie muy lisa. No son recomendables las vallas de malla o redes porque facilitan que los anfibios escalen en ellas o intenten atravesarlas a través de los espacios de las mallas. ^{Ref. 8}



Fig. 4-65 Ejemplo 1 de malas prácticas: Para el cercado de este tipo de pasos las mallas de alambre galvanizado no son aplicables porque los anfibios intentan trepar por ellas. Foto: R. Campeny.

La parte superior debe estar doblada hacia el interior, para evitar que los animales trepen o salten por encima de ella. La parte vertical debe estar unida a la superficie formando un ángulo de 90° cuidando que la parte inferior se ajuste completamente al terreno sin dejar ningún hueco, evitando que haya discontinuidades en el terreno o en la valla (Fig. 4-66) pues cualquier irregularidad en el cercado (Fig. 4-67) puede ser utilizada por los animales para acceder a la calzada. ^{Ref. 7 y Ref. 8}



Fig. 4-67 El terreno adyacente a la estructura guía se mantiene completamente liso y libre de vegetación.

Foto: COST 341



Fig. 4-66 Ejemplo 2 de malas prácticas: Desajuste de la estructura guía y el acceso al paso para anfibios. Foto:

C. Rosell.

Las vallas deberán ser completamente verticales porque las que tienen estructuras redondeadas representan dificultades para el avance de los animales y dificultan la siega.

Los extremos de los vallados se doblarán hacia el exterior de la vía para evitar que los animales puedan acceder a la calzada.

Es importante que el terreno adyacente al vallado sea lo más llano posible y sin desniveles, induciendo a los animales para utilizar el paso. Otro factor que propicia su uso es que en dichos terrenos exista una cobertura vegetal que brinde un aspecto natural pero que no sea tan abundante que obstruya el libre paso de los individuos para los que fue diseñado. ^{Ref. 7}

Mantenimiento

Deberá asegurarse la correcta instalación de vallado perimetral y se supervisará su uso con el fin de detectar desperfectos y repararlos lo antes posible.

Se retirará con periodicidad elementos que puedan obstruir el paso y su correcto funcionamiento.

Se podará con regularidad la vegetación en los 50 cm más próximos al vallado de guía. Esta labor es necesaria, especialmente en días anteriores a las temporadas de migración. ^{Ref. 7}

5 LOS PASOS DE FAUNA EN MÉXICO

El tema de sustentabilidad en la construcción y operación de infraestructura ha tenido mayor importancia en las décadas más recientes especialmente países europeos, así como en Estados Unidos, Canadá y Australia.

Específicamente en el tema de pasos de fauna, el país pionero en el tema fue Francia al diseñar y construir el primer paso superior de fauna en la década de los 50's. Posteriormente otras naciones como Alemania, Holanda, Suiza y otros países europeos, así como América del Norte, África, Asia y Oceanía adoptaron esta medida de reducción de la fragmentación de hábitats.

Pero en México ¿Qué se está haciendo al respecto?

Aunque nuestro país pertenece a América del Norte, la construcción de pasos de fauna o en su defecto la adaptación de infraestructura para lograr ese fin es un tema que recientemente se ha adoptado como medida de mitigación del impacto ambiental originado por la presencia de una vía de transporte. Por tal motivo son pocas las carreteras que cuentan con pasos de fauna y aunque existen propuestas para incrementar su número en algunas carreteras de nuestro país, siguen siendo insuficientes considerando la enorme biodiversidad del territorio nacional.

A continuación se describen algunos ejemplos pasos de fauna existentes en la Red Federal de Carreteras.

5.1 Ampliación de la Carretera “Villahermosa-Escárcega” del km 123+300 al km **154+600** en los estados de Tabasco y Chiapas.

5.1.1 Antecedente Histórico

En octubre de 2008 el Centro SCT Tabasco (el promovente) ingresa la MIA-R a la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) para su evaluación y aprobación del proyecto de ampliación. En julio de 2009 el proyecto se autoriza de manera condicionada por la DGIRA y es hasta 2011 cuando se inicia su construcción.

En vista de que el proyecto de ampliación pasa por territorios con presencia del mono aullador o mono saraguato (*Alouatta pigra*), en septiembre de 2012 SCT Tabasco ingresó a la DGIRA el “Programa de rescate de especies en categoría de riesgo citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 mono aullador (*Alouatta pigra*)”, dicho programa se anexó al proyecto de “Ampliación de la carretera Villahermosa-Escárcega”, pero fue hasta febrero de 2014 cuando se entregó a la DGIRA la implementación de las acciones del programa de protección del mono aullador, para su validación e integración al expediente.



Fig. 5-1 mono aullador o mono saraguato (*Alouatta pigra*)

En el año 2013 se inició la difusión de información por medios impresos y electrónicos (redes sociales) respecto al atropellamiento del mono aullador y su situación como especie en peligro de extinción, lo cual evidenció la problemática ambiental en el tramo en construcción.

Con el fin de asegurar que la construcción de la ampliación se llevara a cabo según las condiciones establecidas por la DGIRA, en abril de 2013 PROFEPA-México emitió una orden de inspección a la obra de ampliación. Durante ese mismo mes se realizó la visita

de revisión a la obra ejecutada por inspectores adscritos a la Dirección General de Impacto Ambiental y Zona Federal Marítimo Terrestre (DGIAZFMT) PROFEPA-México. De lo observado en la revisión, PROFEPA-México emitió un acta de inspección en donde se concluyó que el proyecto de ampliación realizó obras no autorizadas y no solicitó la modificación del proyecto por lo que se hizo acreedor a una multa y sanciones que involucran medidas correctivas.

En agosto de 2014 se emitió la resolución administrativa PFPA/4.1/2C.27.5/0003-13/005-14. donde se establecieron las 7 medidas correctivas y la multa que el proyecto debió cumplir.

Entre las medidas correctivas, la segunda consistió en someter a proceso de evaluación de impacto ambiental a la SEMARNAT, las obras construidas que no fueron reportadas para su autorización o de ser el caso, la exención correspondiente en materia de impacto ambiental.

El cumplimiento de lo establecido en la 2ª medida correctiva se llevó a cabo en octubre de 2015 cuando se elaboró la MIA-R para las obras adicionales y se ingresó a la DGIRA para su evaluación. Después de 59 días hábiles la DGIRA emitió la resolución No. SGPA/DGIRA/DG/0668 que contiene 15 términos y 5 condicionantes que incluyen acciones de mitigación de impacto ambiental, de esos condicionantes, el 5º es de especial relevancia porque define la propuesta de llevar a cabo la construcción de pasos de fauna en un plazo máximo de 3 meses previos al inicio de actividades de operación y mantenimiento.

Como resultado de la atención de los medios de comunicación en 2013 acerca de la problemática del atropello del mono aullador y de su estatus de especie protegida, el 16 de abril de 2015 el senador José Rosas Aispuro Torres, vicepresidente de la cámara de senadores de la LXII legislatura, con el oficio No. DGPL-2P3A.-3644 solicitó un informe detallado del impacto que ocasiona la ampliación de la carretera No. 186 Villahermosa-Escárcega a la población del mono aullador o mono saraguato (*A. pigra*) y del estado que guarda la aplicación de las medidas correctivas para proteger a la especie.

En Agosto del mismo año, es entregado a la cámara de senadores de la LXII legislatura el informe solicitado por el senador Aspurio Torres.

Las demás medidas correctivas emitidas por la DGIRA, establecen prohibiciones de realizar obras no autorizadas y acciones de mitigación de impacto ambiental en materia de niveles de ruido y reforestación, pero entre ellas destaca la 6º medida correctiva, en donde se exige al promovente que presente las modificaciones al programa de protección del mono aullador, en donde serán evaluadas por la DGIRA y de haber sido autorizadas, presentar un informe detallado de la implementación del programa.

El cumplimiento de esta medida se llevó a cabo en varias etapas durante entre los años 2011-2015:

- Entregar toda la información documental de cumplimiento.
- Cumplimiento de trabajos físicos: Instalación de reductores de velocidad y de señalamiento restrictivo de velocidad y señalamiento informativo advirtiendo de la presencia de fauna en la carretera.
- Cumplimiento de trabajos de seguimiento técnico:
 - 9 monitoreos del mono aullador en la zona, realizados entre 2011 y 2015.
 - 2 rescates de especímenes en la carretera entre febrero y agosto de 2012.
 - Medidas de ahuyentamiento de monos en las cercanías de la carretera entre 2011 y 2015.

- Cumplimiento de trabajos de seguimiento social: Difusión del proyecto sobre el cuidado de fauna silvestre y acciones de concientización y sensibilización.
- **Construcción de pasos de fauna y monitoreo de su operación:**
 - 8 pasos de fauna subviales (tipo viaducto adaptado), del km 137+381.5 al km 144+057.5.



Fig. 5-2 Monitoreo de pasos subviales tipo viaducto adaptado.

- 5 pasos de fauna subviales tipo alcantarilla (paso inferior específico para pequeños y medianos vertebrados), del km 137+250 al km 145+450.



Fig. 5-3 Paso subvial tipo alcantarilla presente en el proyecto

- 5 pasos de fauna aéreos (pasos entre árboles) con su respectivo señalamiento, del km 138+300 al km 144+780.



Fig. 5-4 Paso aéreo y señalamiento dentro del proyecto de ampliación de la carretera "Villahermosa-Escárcega".

A continuación se describen las características de los pasos aéreos construidos en el proyecto.

5.1.2 Características de los pasos colgantes para fauna silvestre en la carretera “Villahermosa-Escárcega”

El paso descrito a continuación es el modelo que se utilizó entre los km 122+000 al km 154+600.

La estructura se compone de cuatro postes octagonales de concreto armado PCR 15-800 con ancho de sección variable, empotrados 2 en cada lado de la carretera, separados a una distancia de 1.38 m a partir eje de cada poste y ubicados a una distancia de 6.50 m a partir del hombro de la corona del camino. Cada poste tiene una altura de 15 metros, fueron empotrados a una profundidad igual a $H/7$, donde H = altura del poste.

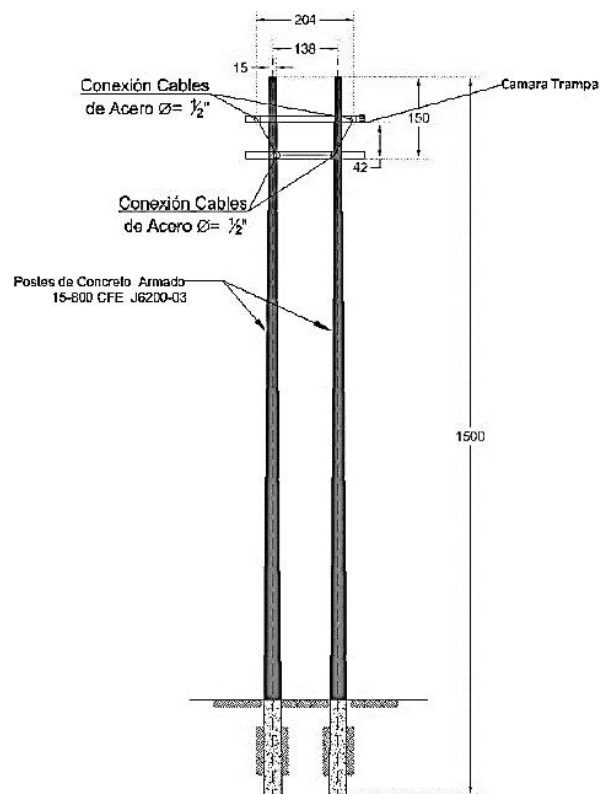


Fig. 5-5 Arreglo de postes. Ref. 14

Los elementos de unión entre cada margen del camino consta de cuatro cables de acero con diámetro de $\frac{1}{2}$ " formando un perfil trapezoidal. En el lecho inferior, los cables están separados horizontalmente a una distancia de 1 m, en el lecho superior de 2.04 m y verticalmente están separados a 0.6 m.

Dos de los cuatro cables se extienden más allá de los postes y fueron anclados al terreno natural con un bloque de concreto.

Para verificar las condiciones actuales de los elementos estructurales se utilizó el programa SAP versión 14.2.4, en donde se realizó un modelo tridimensional del sistema en donde se analizaron las cargas que sufre el sistema.

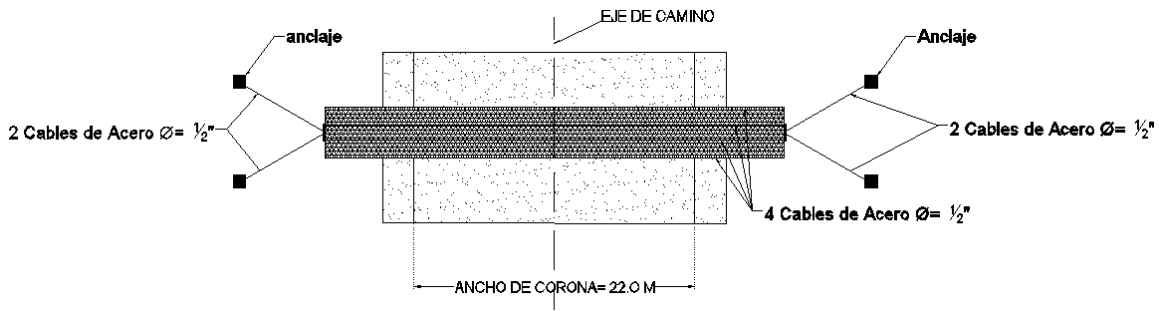


Fig. 5-6 Vista en planta del paso respecto a la corona de la carretera. Ref. 14

Para mayor seguridad de los animales que utilizarán el paso aéreo, la sección trapezoidal que forman los cuatro cables de acero fue recubierta de malla ciclónica, excepto en el lecho superior, como se muestra en la Fig. 4-7.

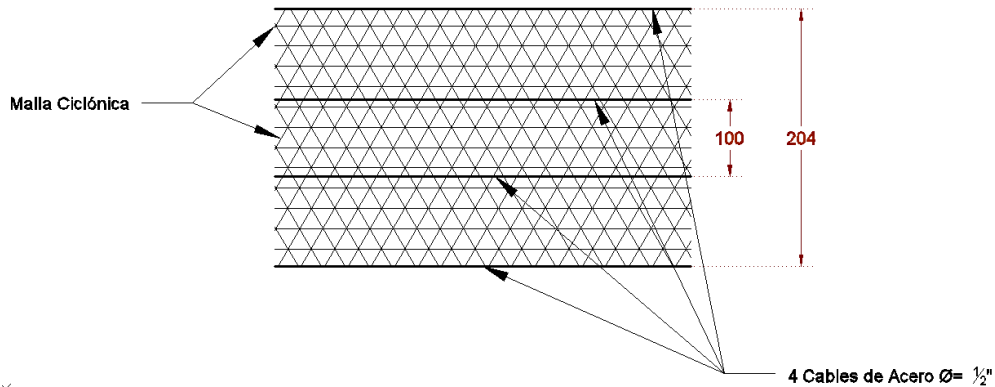


Fig. 5-7 Vista en planta del andador trapezoidal. Ref. 14

Con el fin de incrementar la eficiencia del paso se estableció conexión entre él y los árboles cercanos a la carretera por medio de la colocación de cuerdas de nylon lo suficientemente resistentes al peso de los animales para los que fue diseñado, dichas cuerdas se denominan Andadores de Comunicación o de Conexión.

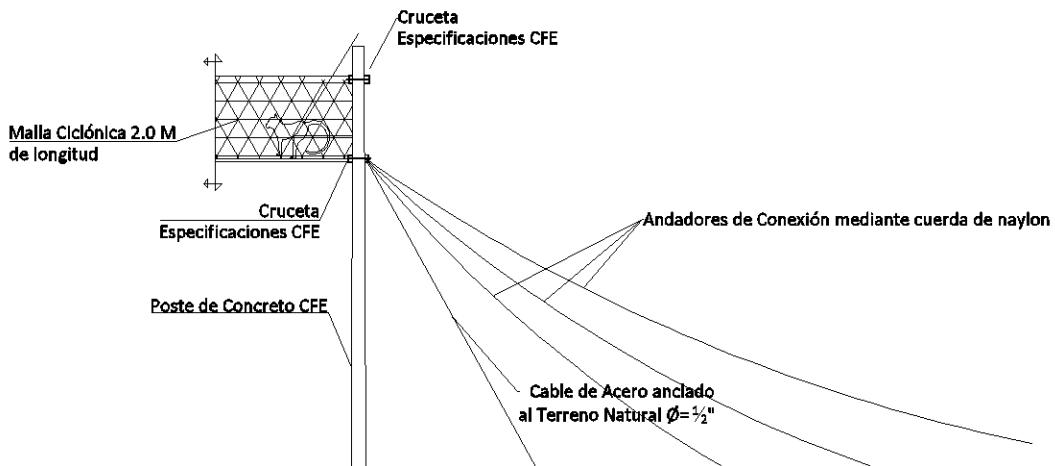


Fig. 5-8 Arreglo de la malla ciclónica, cables de acero y andadores de comunicación. Ref. 14

El paso está diseñado para soportar el peso de 10 especímenes de 15 kg o dos personas con fines de mantenimiento, en el caso más desfavorable.

Los claros son de 35 m con una altura al centro de 6 metros (0.5 m metros mayor que el gálibo recomendado por normativa del IMT).

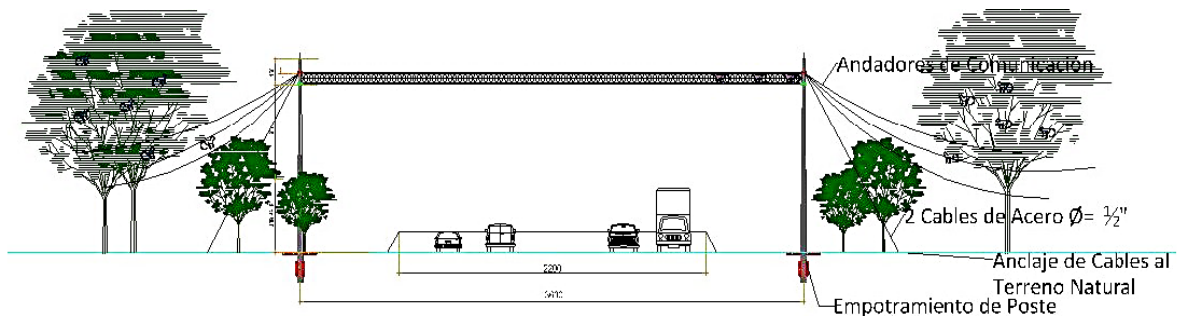


Fig. 5-9 Vista de perfil del paso aéreo tipo puente colgante. Imagen: Ref. 14

En la actualidad se realizan trabajos de monitoreo con cámaras-trampa (ScoutGuard SG565FV), con el objeto de comprobar y evidenciar la funcionalidad de los pasos aéreos.

Las cámaras están operando desde el 25 de enero de 2016 a la fecha.



Fig. 5-10 Monitoreo de la funcionalidad de los pasos, por medio de cámaras-trampa. Fotos: Ref. 14

Además de los pasos existentes, existen propuestas de adaptación de drenaje para uso mixto o bien para construcción de nuevos pasos de fauna. A continuación se mencionan algunos ejemplos.

La información sobre este proyecto se encuentra detalla en la Ref. 14.

5.2 Modernización de la carretera acceso a Calakmul

El camino que será modernizado se localiza en el estado de Campeche y tiene una longitud de 63 km.

El tramo carretero que será modernizado se ubica dentro de la Reserva de la Biósfera de Calakmul (RBC), por ello es de vital importancia contar con un programa de pasos de fauna que permita el desplazamiento libre y seguro de la fauna que reside en la región.

Cabe destacar que en la RBC habitan más de 160 especies de flora y fauna protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 por lo que es de las pocas áreas en el país destinadas a asegurar su existencia de estas especies a largo plazo, así mismo la región tiene un gran valor ecológico por albergar ecosistemas de riqueza biológica amenazada.

No es conveniente construir pasos de fauna porque se estaría alterando y perturbando el ecosistema de la Reserva, por tal motivo se debe procurar que el impacto ambiental sea el mínimo posible. Por otra parte, al ser un área natural protegida resultaría muy difícil detectar las rutas de desplazamiento de grandes especies que transitan aleatoriamente en toda la extensión de la región, lo que hace muy complicado saber dónde construir el paso de fauna.

En la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto de modernización de la carretera acceso a Calakmul se incluye una "Propuesta para la ubicación y dimensión de pasos de fauna" en donde se sugieren una serie de medidas para adaptar y aprovechar la infraestructura de drenaje existente como paso de fauna para especies de tamaño pequeño a mediano.

El tramo a modernizar tiene una extensión de 63 km y comprende desde la desviación hacia Calakmul en la carretera Chetumal-Escárcega hasta la zona arqueológica de Calakmul. A lo largo de ese camino se encuentran 52 obras de drenaje, de las cuales 33 serán adaptadas para que la fauna de tamaño pequeño-medio pueda transitar por ellas, su modificación consiste en reemplazar los tubos por losa (Fig. 4-12). A las 19 obras restantes se les dará mantenimiento y limpieza periódica para para que la fauna de talla inferior pueda transitar a través de ellas. (Fig. 4-11)



Fig. 5-11 Ejemplo de obra de drenaje ubicada en el km 161+082.3 que posiblemente sea usada por fauna de talla inferior. Foto: Ref. 16



Fig. 5-12 Ejemplo de obra de drenaje conformada por 12 tubos, ubicada en el km 58+093 que podría ser reemplazada por una losa para facilitar el tránsito de fauna de talla inferior-mediana. Foto: Ref.16

Considerando los escurrimientos en la región de Calakmul, además de las acciones descritas, se propone construir 10 obras nuevas de drenaje. Estas obras serán tubos de 1.2 m de diámetro de modo que también puedan ser utilizadas por animales de talla media e inferior.

Al finalizar el proyecto de modernización en el tramo se tendrán 62 obras de drenaje de uso mixto como pasos de fauna que beneficiarán el tránsito de especies de talla inferior a mediana. En el caso de fauna de mayor tamaño como son: pumas, jaguares, tapires, venados, etc. no se tienen planeados pasos de fauna para ellos pues sus ámbitos hogareños son muy amplios y no es fácil seguirlos para determinar el mejor lugar para ubicar pasos de fauna para su uso, razón por la cual en caso de que necesiten desplazarse al sur de la RBC cruzarán por la carretera. La medida de mitigación propuesta para solucionar esta situación es la instalación de señalamiento preventivo que advierta sobre la posible presencia de fauna silvestre en la carretera.

La información sobre esta Propuesta se encuentra en la Ref.16

5.3 Modernización de la carretera San Pedro-Cuatrociénegas

El tramo a modernizar comprende del km 81+588.8 al km 130+000 con una longitud de 48.41 km, en la carretera San Pedro-Cuatrociénegas perteneciente al estado de Coahuila. Las acciones a realizar consisten en la ampliación del ancho de calzada de 7 m a 12 m, construcción de nuevas obras de drenaje, sustitución y ampliación de las obras de drenaje existentes de modo tengan un uso mixto.

Debido a la diversidad biológica de la región, en la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto de modernización se incluyen propuestas para adecuar las obras de drenaje como pasos de fauna. Para lo cual se diseñará un “Programa de diseño y ubicación de pasos de fauna”, de este modo se busca mitigar los efectos de la fragmentación de hábitats originados por la presencia de la infraestructura.

De acuerdo a lo establecido en la MIA del proyecto de modernización, el primer paso para llevar a cabo el programa es realizar un monitoreo de las especies faunísticas para conocer los sitios próximos a la infraestructura con mayor presencia de fauna. La

búsqueda información será acerca de las especies que frecuentan el lugar y sus posibles rutas desplazamiento.

La recolección de información se realizará por medio de caminatas a lo largo de dos transectos uno a cada lado del tramo correspondiente al proyecto, poniendo especial atención en las obras de drenaje existente y en aquellos cadenamientos donde se adaptarán obras de drenaje para uso mixto como pasos de fauna. La toma de datos sobre la fauna se realizará en diferentes horarios debido a que no todas las especies tienen los mismos hábitos dependiendo de las condiciones climáticas del hábitat donde se desarrollan.

Las observaciones de la fauna se realizarán contabilizando individuos para obtener un análisis de abundancias. Entre la tecnología que se utilizará para el monitoreo están los dispositivos GPS, cámaras fotográficas y cámaras-trampa.

Las cámaras-trampa se han convertido en una herramienta fundamental para registrar la actividad faunística antes de construir los pasos y después de finalizados para dar seguimiento a su operación. Este tipo de cámara debe instalarse dentro de la zona donde se haya observado presencia de la especie en estudio y debe fijarse a un árbol, estaca o en su defecto un trípode a una altura de 40-50 cm del suelo, con el objeto de obtener una toma de cuerpo completo del individuo en estudio.

Teniendo identificada la información de los puntos de especial interés, se procederá a ejecutar la adecuación de drenaje existente para su uso como paso de fauna, lo cual incluye las acciones de sustitución de tubos por losas, en otros casos será necesario realizar limpiezas y desazolves, para el tramo que comprende el proyecto también será necesario ampliar la longitud de las obras de drenaje existente que pasan por el tramo en ampliación.

Así mismo se llevará a cabo la vigilancia y seguimiento del proceso de adecuación y se supervisará que se estén cumpliendo las especificaciones previamente establecidas.

Habiendo concluido los trabajos de adecuación del drenaje se llevará a cabo un monitoreo para evaluar su eficiencia como pasos de fauna, para ello se instalarán cámaras-trampa durante un año en las cercanías de las obras de drenaje que fueron adecuadas para uso mixto. Los datos registrados en campo pueden ser: ubicación geográfica, altitud, hora, fecha, tipo de vegetación, etc.

Al mismo tiempo se identificarán áreas en las que se presenten atropellamientos para que el responsable del monitoreo proponga las medidas preventivas correspondientes. Las cuales pueden ser instalación de reductores de velocidad en el pavimento y señales con mensajes alusivos a la presencia de fauna salvaje en la carretera.

5.3.1 Reductores de velocidad

El tipo de dispositivo reductor de velocidad a que se propone utilizar son: vibradores monolíticos de concreto hidráulico simple cuyo objetivo es advertir al conductor por medio de vibraciones y ruido sobre la cercanía de un área de conflicto, en este caso será en áreas que se consideren pasos de fauna, de esta manera se piensa reducir la velocidad de los conductores.

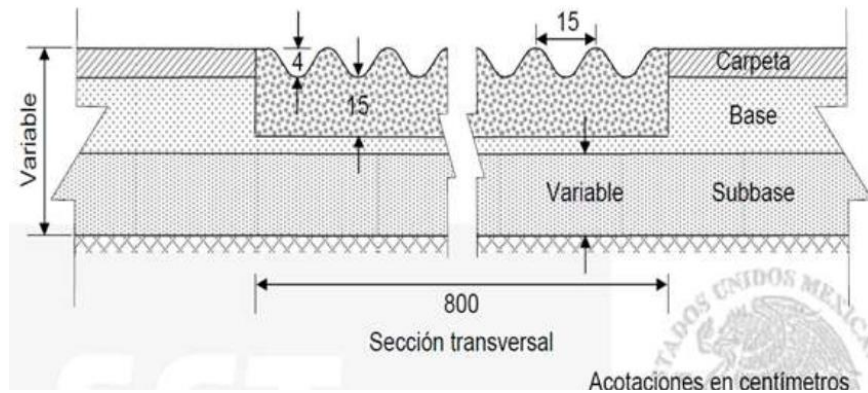


Fig. 5-13 Estructura general del vibrador monolítico de concreto hidráulico simple con las dimensiones establecidas por la N-PRY-CAR-10-04-001. Ref. 15

Los vibradores contarán con señalamiento horizontal (de acuerdo a la norma N-PRY-CAR-10-04-006/08) y señalamiento vertical preventivo (conforme a lo establecido en la NOM-034-SCTS2-2003) que indique su proximidad.



Fig. 5-14 Señal vertical preventiva SP-41, indica proximidad a los vibradores monolíticos. Ref. 15

5.3.2 Señalización

Además del señalamiento antes mencionado, se propone instalar señalamiento preventivo que advierta la posible presencia de fauna silvestre en la carretera (Fig. 4-15)



Fig. 5-15 Señalamiento preventivo acerca de la posibilidad de encontrar algunas especies en el tramo carretero. Ref. 15

En la propuesta también está contemplada la señalización informativa de recomendación (SIR) con las leyendas “Cuida el Medio Ambiente” y “Protege la Fauna”.

Finalmente, es indispensable la presencia de señales restrictivas que prohíban actividades que amenacen la sobrevivencia de la fauna y el ecosistema en general, tales como: caza, acampar, realizar fogatas o tirar basura.



Fig. 5-16 Señales restrictivas necesarias para la conservación del ecosistema de la región. Ref. 15

La información de este proyecto se remite a la Ref. 15

5.4 Ampliación del ancho de corona en la carretera Imuris-Agua Prieta

El proyecto consiste en la modernización de la carretera federal No. 002 “Imuris-Agua Prieta” en el tramo “Imuris-Cananea”, Sonora. Los trabajos de modernización comprenden la construcción de un segundo cuerpo en dirección sur y la ampliación del ancho de corona de 7 m a 21 m en el cuerpo en dirección norte, con lo anterior se planea tener un ancho de calzada en cada sentido, un ancho de corona de 10.5 m para cada cuerpo, acotamientos interiores de 1 m de ancho y acotamientos exteriores de 2.5 m de ancho.

La necesidad de realizar la modernización en el tramo, se deriva de los problemas de tránsito en la carretera, especialmente por el alto porcentaje de vehículos de carga.



Fig. 5-17 Ubicación del proyecto. Ref. 17

En la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto de modernización se plantea como medida de mitigación de fragmentación de hábitats la “Propuesta de ubicación de pasos de fauna” a partir de las obras de drenaje existente.

El primer paso para llevar a cabo la propuesta es realizar estudios prospectivos de fauna silvestre, de los cuales se identificaron algunas especies enlistadas en la NOM-SEMARNAT-059-2001, las cuales son:

- Oso negro (*Ursus americanus*)
- Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*)
- Ocelote (*Leopardus pardalis*)
- Cacomixtle (*Bassariscus astutus*)
- Tejón (*Taxidea taxus*)
- Jaguarundi (*Herpailurus yagouarundi*)
- Ratón de abazones (*Chaetodipus penicillatus*)
- Rana leopardo de Yavapai (*Lithobates yavapaiensis*)
- Gecko de bandas occidental (*Coleonyx variegatus*)
- Cascabel de diamantes (*Crotalus atrox*)
- Jarretera cuello negro (*Thamnophis cyrtopsis*)
- Caja ornamentada (*Terrapene ornata*)



Fig. 5-18 Caja ornamentada (*Terrapene ornata*)



Fig. 5-20 Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*)



Fig. 5-19 Jaguarundi (*Herpailurus yagouarundi*)

Las acciones que se proponen en la Manifestación de Impacto Ambiental para este proyecto están:

- Adecuación de 7 obras de drenaje transversal a pasos inferiores multifuncionales de fauna.
- Desasolve y mantenimiento periódico de todas las alcantarillas del tramo
- Adaptación de cunetas y bordillos.

Habiendo realizado los estudios sobre la fauna de la zona y su relación con el hábitat (flora, topografía, clima, etc.) se determinó la ubicación de los pasos de fauna de acuerdo a los siguientes criterios técnicos:

- Conectividad con la vegetación.
- Topografía del terreno
- Registro de especies de fauna (obtenidos por la observación de campo)
- La presencia de obras de drenaje en el trazo carretero, que son susceptibles a acondicionar como paso de fauna.

El resultado fue la elección de 7 puntos en donde el drenaje puede ser adaptado para funcionar simultáneamente como paso de fauna.

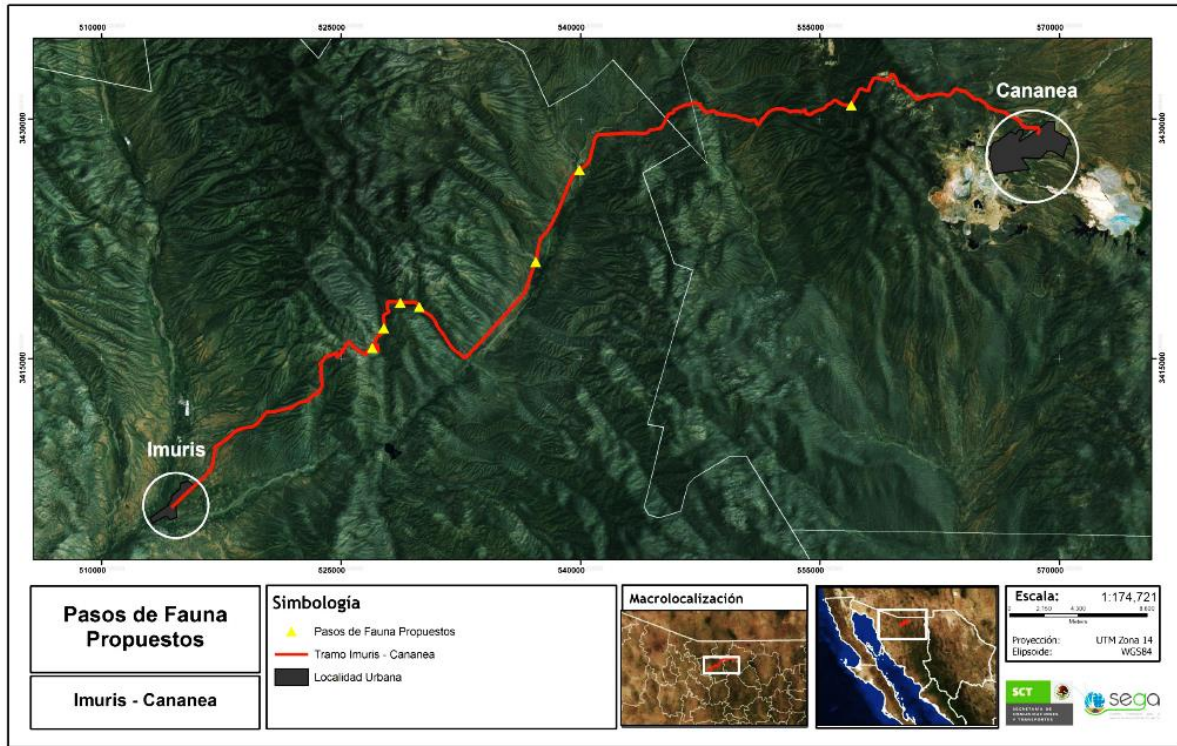


Fig. 5-21 Localización del proyecto y de los 7 pasos de fauna. Ref. 17

5.4.1 Adaptación de siete obras de drenaje transversal

Las obras existentes (con excepción del Puente San Antonio en el arroyo Cocóspera) están conformadas por tuberías de diferentes diámetros y alturas, por lo que la adecuación se llevará a cabo reemplazando las tuberías por losas de 6x3 m, con una longitud correspondiente al ancho del tramo carretero y con orientación perpendicular al eje del mismo. Con estas dimensiones se asegura que animales de gran tamaño como el venado cola blanca y el oso negro puedan utilizar el paso sin dificultades.

También se instalará un cerco perimetral para conducir a los animales a utilizar el paso y al mismo tiempo evitar que intenten cruzar sobre la calzada de la carretera.

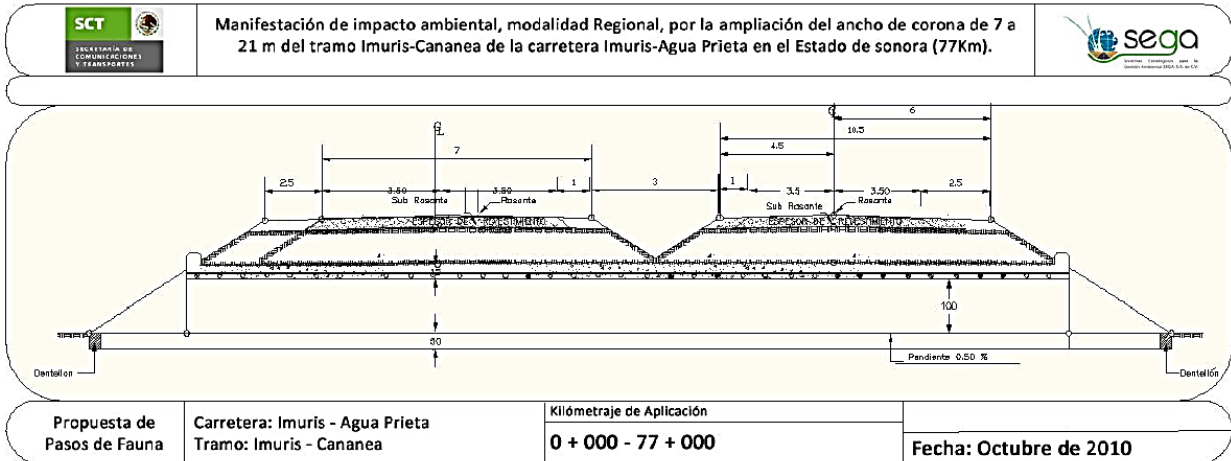


Fig. 5-22 Esquema general del proyecto en caso que se aceptara la adecuación del drenaje a paso inferior multifuncional de fauna. Ref. 17

5.4.2 Mantenimiento de drenajes existentes

En el tramo carretero existen otras obras de drenaje que pueden ser utilizadas como paso inferior de fauna para individuos de menor tamaño, es por ello que se propone realizar desazolves periódicos y retiro de residuos en el interior de las alcantarillas y tubos de drenaje.

5.4.3 Adaptación de cunetas y bordillos

Es común que en estas estructuras queden atrapados animales de talla pequeña como reptiles, anfibios y micromamíferos, para evitar este problema la Propuesta recomienda que las cunetas tengan continuidad con el entorno y que, su pared interior tenga una pendiente máxima de 45°, lo cual permite que las especies que lleguen a las cunetas, puedan incorporarse al entorno adyacente a la vía sin ningún problema.

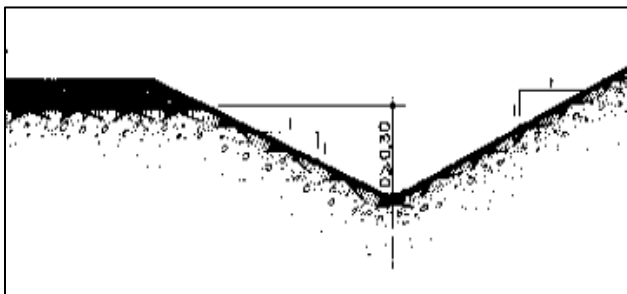


Fig. 5-23 Ejemplos de cunetas que favorecen el acceso a anfibios, reptiles y micromamíferos al entorno

En el caso de los bordillos, se deben colocar rampas de salida cada 25 m como máximo o bordillos en rampa.



Fig. 5-24 Ejemplos de bordillos en rampa

5.4.4 Efectividad de los pasos

La “Propuesta de Ubicación de Pasos de Fauna” establece que una vez finalizados los trabajos de adecuación de las obras de drenaje se debe tener un programa de monitoreo periódico con el objeto de dar seguimiento a los nuevos pasos de fauna y así comprobar su efectividad. Se planea que el programa comprenda tanto los 7 pasos de fauna adecuados para este fin, como las demás obras de drenaje que fueron sometidas a desazolve y retiro de residuos. El proceso que recomienda el documento es el siguiente:

Para llevar a cabo el monitoreo se debe tener un equipo de 2 biólogos que lleven a cabo muestreos mensuales en donde registrarán fluctuaciones poblacionales relacionadas con la temporalidad de las especies y sus ciclos biológicos. El trabajo de campo será por 6 días en donde se sugiere que empleen la siguiente metodología:

5.4.4.1 Registro de huellas y heces

Es un método que permite identificar el tipo de especies que utilizan los pasos: mamíferos, aves, reptiles, etc. Es un método efectivo que no necesita de demasiada tecnología para llevarlo a cabo.

Se coloca una capa de tierra muy fina en un área de 1m x 1m con un espesor de 1cm en las entradas de los pasos de fauna para que queden marcadas las huellas de los animales que los utilizan.

Las huellas tendrán que ser revisadas diariamente identificarlas y contabilizarlas posteriormente se deben “borrar” con una brocha suave para no recontabilizar las mismas huellas al día siguiente.

Además se registrará en las cercanías de los pasos la presencia de heces y huellas, haciendo la correspondiente identificación.

Es importante mencionar que para realizar este muestreo no se deben colocar material atrayente (cebos, hormonas) en los pasos de fauna pues esto puede atraer a animales que no necesariamente utilizan los pasos.



Fig. 5-25 Huella de venado cola blanca. Fuente: Outfitters México

5.4.4.2 Fototrampeo

Se colocarán fototruampas (cámaras con dispositivo infrarrojo que acciona el obturador al detectar movimiento cercano) sólo en los 7 pasos modificados como estructuras multifuncionales. Con este método se puede identificar con más detalle la especie a la que pertenecen los individuos que utilizan los pasos.

5.4.4.3 Determinación de puntos críticos

Los puntos críticos serán aquellas zonas con mayor número de observaciones dentro y fuera del derecho de vía, o bien, organismos atropellados.

Para identificarlos se realizarán recorridos en vehículo a lo largo de la carretera, deteniéndose en aquellos puntos en donde localicen la presencia de una carcasa (restos de un organismo) o donde encuentren algún animal dentro del derecho de vía intentando cruzar la carretera. En cualquier caso se registrará la especie encontrada, la hora del hallazgo y las coordenadas geográficas del evento.

La información recabada será sistematizada y analizada para determinar si el diseño de los pasos de fauna tiene un buen funcionamiento o en caso contrario, realizar las modificaciones necesarias para asegurar su eficiencia.

La identificación de puntos críticos puede sugerir la ubicación de nuevos pasos en sitios específicos dependiendo de los organismos involucrados.

La información de este proyecto pertenece a la Ref. 17

5.5 Ampliación de la carretera “Manzanillo-Puerto Vallarta”, en el tramo “El Tuito-Melaque” del km 0+000 al km 116+300 y del km 148+330 al km 169+396.

El proyecto se localiza en el estado de Jalisco, en la sección centro-occidente de la República Mexicana, en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur.

La región presenta un clima subtropical con diferentes usos de suelo (agricultura y asentamientos humanos), así como gran diversidad de tipos de vegetación (Bosques de coníferas, Manglar, Palmar, Pastizal, Sabana, Vegetación de dunas costeras, Vegetación halófila y gipsófila, Selva Mediana subcaducifolia, Selva Baja caducifolia, entre otras).

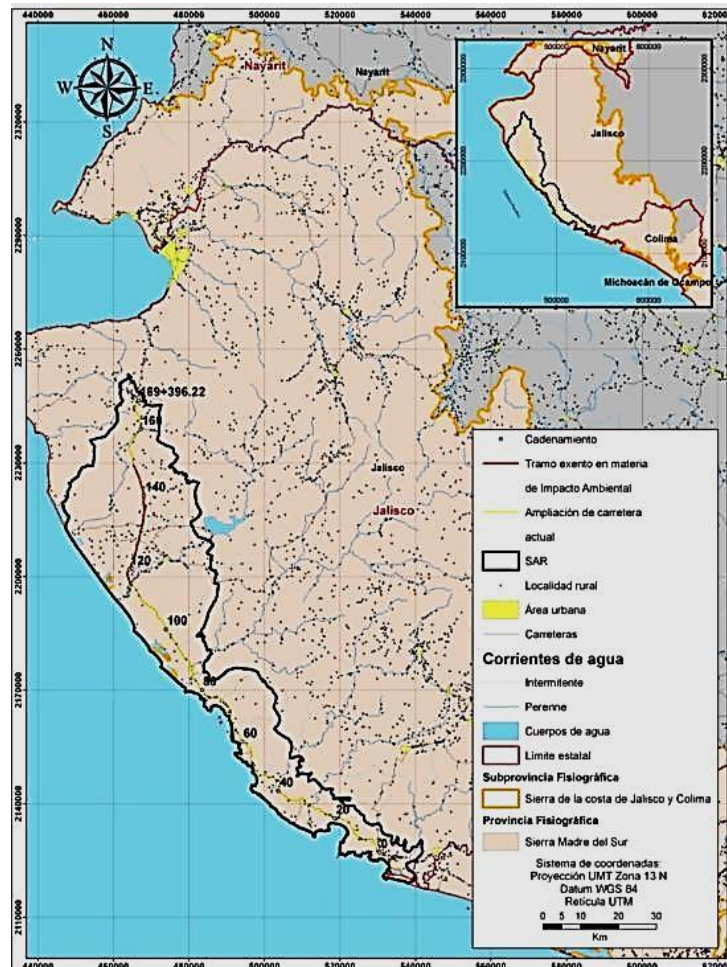


Fig. 5-26 Ubicación del Proyecto. Ref. 18

El proyecto radica en la ampliación del ancho actual de corona (entre 7.6 y 8 m) a 12 m. Para lograrlo se tiene proyectado rectificar la sección de rodamiento y agregar a los 2 carriles existentes de 3.5 m de ancho, un acotamiento exterior de 2.5 m por lado. Los tramos ampliados tendrán las características geométricas de una Carretera tipo B2, de acuerdo con las especificaciones de las normas de servicios técnicos de la SCT.

Es importante destacar que el tramo comprendido entre el cadenamiento 116+310 al 148+330 la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) otorgó a la SCT mediante el oficio S.G.P.A./DGIRA/DG/7230/10 (Anexo I), la exención de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) de las obras para dicho tramo.

Dentro de los efectos negativos que genera la construcción y/o modificación de una carretera y por lo tanto el proyecto de ampliación se encuentran:

- Fragmentación de hábitats.
- Efecto barrera.
- Atropellos a la fauna silvestre

Siendo la muerte por atropellos a la fauna un efecto muy importante que actualmente se observa en los tramos del proyecto y que se estima aumente.

Es por ello que a partir de la información descrita en la MIA del proyecto de ampliación, se realizó una Propuesta de Ubicación y Diseño de Pasos de Fauna.

Con la Propuesta se espera mitigar el impacto ambiental generado por la infraestructura carretera en la región, al mismo tiempo que representa un reto para la conservación de fauna y sus hábitats y es un factor fundamental en la seguridad vial y humana.

Agrandes rasgos, las acciones que constituyen la Propuesta están:

- Determinación, por medio de estudios y monitoreo de las especies que se relacionan con los hábitats fragmentados por la carretera y las cuales son susceptibles de utilizar los pasos. Esta información también es de utilidad para seleccionar la ubicación y diseño de pasos de fauna.
- Desazolve de obras de drenaje para darle un uso mixto en donde especies de talla chica-mediana puedan utilizarlas.
- Sustitución de alcantarillas y tubos de drenaje por losas, las cuales permitirán que especímenes de mayor tamaño (jaguas, pumas y venados) los utilicen como pasos inferiores de fauna.
- Construcción estratégica de pasos específicos para fauna, los cuales beneficiarán a individuos de talla grande.
- Por medio de monitoreo y estaciones de detección de huellas observar la efectividad de los pasos adaptados y construidos.
- Evaluar el daño causado por la actual carretera a las especies de fauna silvestre a través del análisis de atropellos.

5.5.1 Muestreo de presencia de fauna silvestre en el Sistema Ambiental Regional (SAR)

5.5.1.1 Cámaras-Trampa

El muestreo fotográfico se realizó del 10 de noviembre de 2010 al 22 de diciembre del mismo año. Fechas en las que se colocaron 24 cámaras-trampa alcanzando un esfuerzo de muestreo de 720 días-trampa, con lo que se obtuvieron 140 registros fotográficos de 12 especies de fauna silvestre.

Para la ubicación de las cámaras-trampa en las obras de drenaje existentes, se consideraron sitios en donde existe mejor calidad de hábitat y en aquellos lugares en donde se encontró evidencia de presencia de fauna, como huellas, excretas o en donde los lugareños refieren avistamientos frecuentes en el caso de grandes mamíferos como el jaguar y el puma.

De esta manera se observa que la especie que frecuentemente usa las actuales obras de drenaje como pasos de fauna fue el tejón (*Nasua narica*), el cual se observó en ocho de las 16 estructuras de drenaje prospectadas, seguido del jabalí (*Pecari tajacu*) registrada

en 6 obras de drenaje, el ocelote (*Leopardus pardalis*) y mapache (*Procyon lotor*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) se registraron cruzando en cinco, cuatro, dos y una obra de drenaje respectivamente.



Fig. 5-27 Especies de fauna silvestre captadas por cámaras-trampa mientras utilizan las obras de drenaje de tipo bóveda como paso de fauna. Ref. 18

Por otra parte, se identificaron colonias de murciélagos de 11 especies diferentes, las cuales actualmente usan las obras de drenajes (tubos, losas y bóvedas) como zonas de refugios e inclusive algunas colonias de murciélagos usan estas obras como zonas de maternidad. Cabe destacar al Murciélago hocicudo de curazao (*Leptonycteris curasoae*) como una especies protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010.



Murciélago gris con sacos en las alas (*Balantiopteryx plicata*) en bóveda en el cadenamiento 21+400

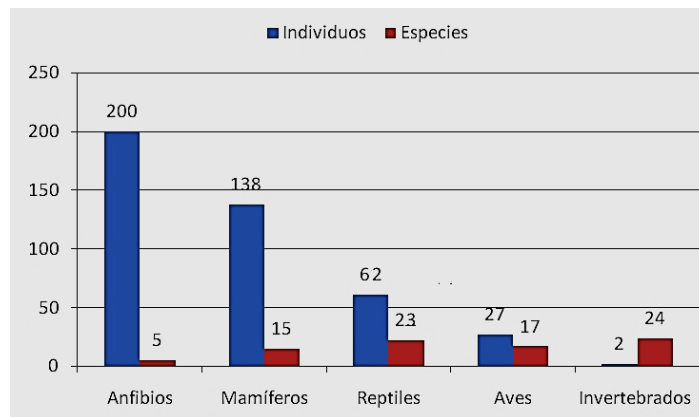


Murciélago hocicudo de curazao (*Leptonycteris curasoae*) en losa en el cadenamiento 143+650

Fig. 5-28 Murciélagos encontrados en las bóvedas de las obras de drenaje. Ref. 18

5.5.1.2 Documentación del atropello actual en la carretera

La documentación de atropellos se realizó durante 42 días de prospección (de octubre de 2010 a noviembre de 2010) en donde se obtuvo un total de 62 especies atropelladas; de estas 5 son anfibios, 23 pertenecen al grupo de los reptiles, 17 son aves, 15 mamíferos y solo 2 especies corresponden a invertebrados (estas últimas especies se consideraron importantes, ya que están protegidas por la normas ambientales), sumando un total de 451 individuos atropellados. De lo anterior, los reptiles y mamíferos, son los grupos más afectados por los atropellos, con 62 y 138 individuos respectivamente, destacando que estos grupos presentan especies consideradas por la NOM -059-SEMARNAT-2010.



Gráfica 5-1 Número de atropellos registrados por individuo y por especie. Ref. 18

5.5.2 Fauna potencial en el SAR

Después de realizar estudios y monitoreos, se llegó a identificar que dentro del SAR podrían existir aproximadamente 430 especies divididas en 4 grupos de vertebrados: anfibios, reptiles, aves y mamíferos. De los cuales 87 especies se clasifican en categoría de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010. A continuación se enlistan algunas de las especies encontradas:

- **Anfibios:** De todos los grupos de vertebrados registrados en la zona del proyecto, los anfibios presentan el menor número de especies así como de organismos, ya que de las 198 especies totales para la zona, solo 13 especies pertenecen a este grupo. Entre las especies que sobresalen están:

- Ranita hojarasca (*Leptodactylus melanonotus*)
- Ranita de pastizal (*Exerodonta smaragdina*)
- Rana del zacate (*Lithobates forreri*)
- Rana ladradora costeña (*Craugastor occidentalis*)



Fig. 5-29 *Exerodonta smaragdina*.
Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R.
Bautista, 2010. Ref. 18

- **Reptiles:** Se tiene el registro de 38 especies de reptiles en total para la zona del proyecto. Algunas de las especies encontradas en la zona son:

- Salamandesa vientre amarillo (*Phyllodactylus tuberculatus*)
- Ameiva metálica o arcoíris (*Ameiva undulata*)
- Boa común o mazacuata (*Boa constrictor imperator*)
- Culebra lira (*Trimorphodon biscutatus*)
- Abaniquillo pañuelo del Pacífico (*Anolis nebulosus*)
- Cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*)
- Iguana verde (*Iguan iguana*)



Fig. 5-30 *Iguana iguana*. Foto:
Grupo Selome S.A.de C.V./R
.Bautista, 2010. Ref. 18



Fig. 5-32 *Crocodylus acutus*. Foto: Grupo
Selome S.A.de C.V./R .Bautista, 2010. Ref.18



Fig. 5-31 *Boa constrictor imperator*. Foto:
Grupo Selome S.A.de C.V./R .Bautista, 2010.
Ref. 18

- **Aves:** Por ser el grupo con mayor capacidad de desplazamiento, se tiene evidencia de que las aves son los vertebrados mejor distribuidos en el trazo del proyecto, prueba de ello es que en el periodo de muestreo se identificaron 108 especies de aves. Las especies con mayor presencia fueron:

- Aguililla gris (*Buteo nitidus*)
- Carpintero enmascarado (*Melanerpes chrysogenys*)
- Tirano tropical (*Tyrannus melancholicus*)
- Pijije ala blanca (*Dendrocygna autumnalis*)
- Chachalaca pálida (*Ortalis poliocephala*)
- Lechuza común (*Tyto alba*)

- Ibis blanco (*Eudocimus albus*)
- Bolsero encapuchado (*Icterus cucullatus*)
- Chotacabras pauraque (*Nyctidromus albicollis*)



Fig. 5-33 *Icterus cucullatus*. Foto: Grupo Selome S.A.de C.V./R. Bautista, 2010. Ref. 18

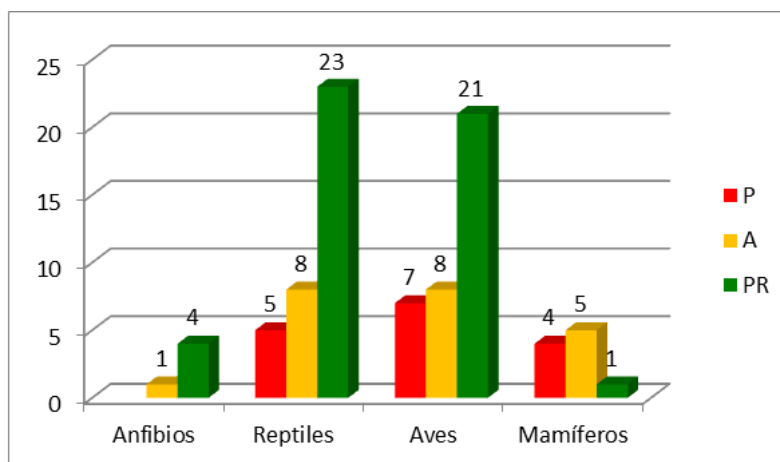
- **Mamíferos:** Se encontraron 33 especies a lo largo de la carretera y su área de influencia. Las especies que mejor distribuidas son:

- Tlacuache (*Didelphis virginiana*)
- Mapache (*Procyon lotor*)
- Coatí (*Nasua narica*)
- Armadillo nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*)
- Pecarí de collar (*Tayassu tajacu*)
- Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*)
- Ocelote (*Leopardus pardalis*)
- Murciélago gris de saco (*Balantiopteryx plicata*)



Fig. 5-34 Tlacuache (*Didelphis virginiana*). Foto: Grupo Selome S.A.de C.V. 2010. Ref. 18

En cuanto a las especies endémicas que se reportan en la zona del SAR, se contabilizaron 72, de las cuales 32 son reptiles, 16 mamíferos, 13 aves y 11 son anfibios.



Gráfica 5-2 Especies de fauna con presencal potencial en el SAR, que se encuentran en alguna categorías de riesgo (P: Peligro de extinción; A: Amenazada y Pr: Protección Especial), según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Ref. 18

5.5.3 Ubicación de los pasos de fauna

Los criterios de ubicación de pasos y selección de estructura a construir o adaptar fueron:

- El interés en la conectividad ecológica del tramo, particularmente para los desplazamientos de fauna.
- La topografía en el sector elegido para la ubicación de un paso de fauna.
- Las especies o grupos taxonómicos de referencia para uso de los pasos de fauna o pasos específicos de fauna.

5.5.4 Diseño de los pasos de fauna

Para favorecer el tránsito de las especies observadas en lo monitoreos y con el propósito de reducir los efectos de la fragmentación de hábitats, la propuesta considera la sustitución de 126 obras de drenaje y la construcción de 4 pasos exclusivos para fauna. A continuación se describen las características principales de cada obra:

- **Tubos:** Son tubos enterrados cuyo diámetro no debe ser menor a 90 cm, para facilitar su mantenimiento. La mayoría de los tubos de la carretera tienen un diámetro de 1.05 m, de los cuales 78 deberán ser reemplazados por tubos de 1.5 m.
- **Losas:** Están formadas por dos paredes laterales, tapa y fondo, generalmente de sección constante y cartelas en las esquinas. En algunos casos no se tiene relleno encima de la losa, en otros el relleno no sobrepasa los 8 m. En la zona del proyecto, las losas existentes tienen diferentes dimensiones, desde 0.80x1.00 m hasta 8.00x2.30 m, por lo que 22 de las losas y 3 tubos dobles que deberán ser ampliadas a 2-4 m de ancho por 2-3 m de alto.

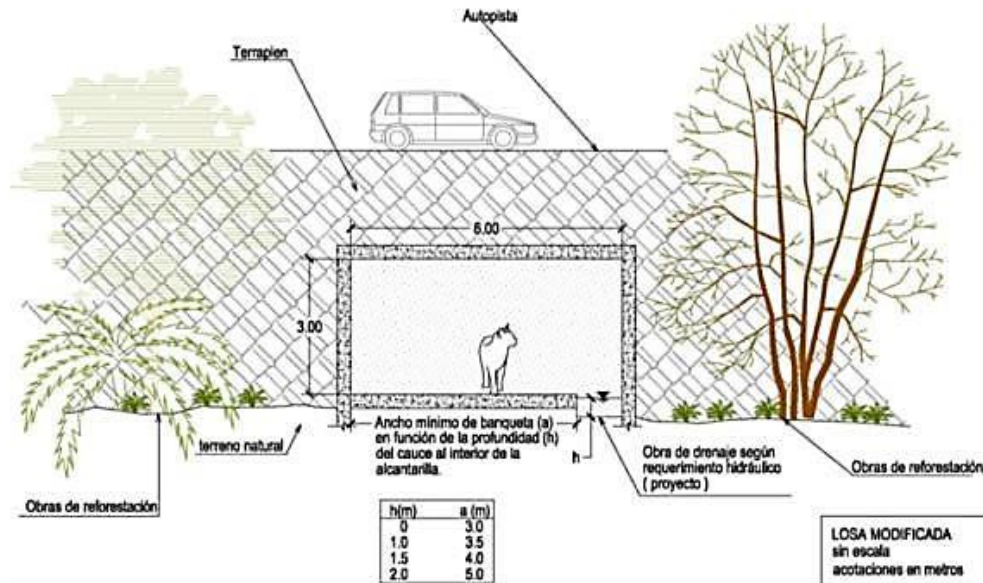


Fig. 5-35 Esquema de losa plana sugerida para el proyecto. Ref. 18

- Casi siempre formadas por secciones de espesores variables y con geometría de arcos circulares 6 parabólicos. A lo largo de los tramos del proyecto, las bóvedas tienen diferentes dimensiones que van desde 1.00x0.90 m hasta 10.00x4.50 m. En la Propuesta se planea ampliar 23 bóvedas a 4m de ancho por 2-3 m de alto, en sitios en

donde exista presencia de especies prioritarias o citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

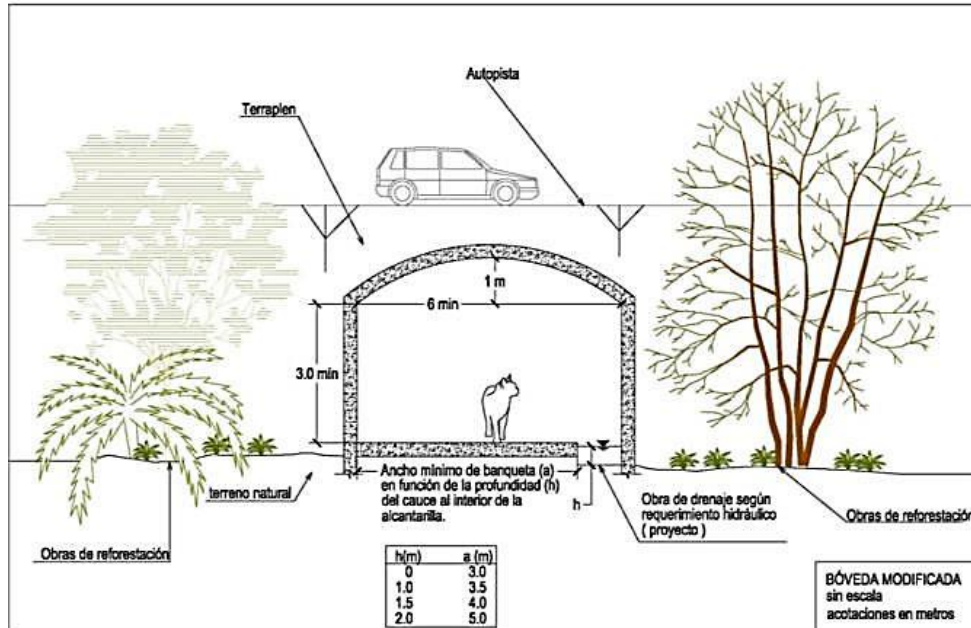


Fig. 5-36 Esquema general de bóvedas. Ref. 18

- **Súper-claros:** los súper-claros o Paso Inferior de Fauna (PIF) serán estructuras diseñadas para uso exclusivo como paso de fauna y aunque la mayoría de las especies presentes en la región los puede utilizar, están diseñadas para el libre tránsito de fauna de mayor tamaño como venado cola blanca, puma, jaguar, jabalí de collar, así como mamíferos de talla mediana como el jaguarundi.

Para la ubicación de estos pasos se tuvo en cuenta la orografía del lugar, en donde es común observar zonas de lomerío y zonas bajas de abundante vegetación, en las cuales es frecuente encontrar felinos.

Los súper-claros se construirán con las características de un “ecoducto”, lo que implica que estarán cubiertos con vegetación endémica combinando especies arbustivas y arbóreas, además de estructuras ligeras camufladas y una visibilidad clara de la vegetación al otro lado del paso. Todo esto con la finalidad de que el diseño del súper-claro se integre correctamente al paisaje y con ello inducir a los animales a utilizar el paso.

Los cadenamientos en donde se construirán este tipo de pasos son: km 8+878, km 46+437, km 54+220 y km 58+715.

A continuación se muestra un ejemplo del diseño de uno de estos pasos, localizado en el km 558+715.

5.5.5 Evaluación del desempeño de los pasos de fauna

5.5.5.1 Monitoreo del paso con Cámaras-trampa

Se instalarán justo al terminar las obras de drenaje y funcionarán por tres años en los cuales serán revisadas cada dos meses.

El uso de este tipo de tecnología permite evidenciar el éxito de cada paso, para ello se calcula el *Índice de frecuencia relativa (capturas/1000 días trampa)*.

El foto-trampeo es un método que se recomienda complementar con la trampa de arena para obtener un conjunto de información que información que al analizarse de manera adecuada arroja resultados sobre la eficacia del paso.

5.5.5.2 Registro de huellas mediante trampas de arena.

En las estructuras de drenaje se colocará una franja de tierra fina, arena o una composta de yeso con arena o cal con arena (40-60%), las dimensiones de las franjas serán variables pero se recomienda que su longitud sea igual al ancho del paso, su espesor será de 15 cm a cada lado del eje de la carretera. Se deben colocar en los accesos del paso y en su parte central.

Las trampas se revisarán de manera semanal una vez terminados los pasos de fauna y una vez por mes durante un año, a partir de que entre en operación la carretera.

Al mismo tiempo las huellas encontradas serán identificadas con ayuda de un manual especializado y registradas.

Para comparar los índices de uso de pasos de fauna y estructuras de drenaje, se parte de la siguiente fórmula propuesta por Mata *et al.* (2006):

$$IU = \frac{(n_{ij} / e_j)}{N_i / E}$$

Donde:

n_{ij} = número de observaciones por día para una especie i (o para el conjunto de ellas) en un tipo de estructura j ;

e_j = número de estructuras del tipo j ;

N_i = número de observaciones por día para una especie (o para el conjunto de ellas) en el total de estructuras

E = número total de estructuras monitoreadas.

Los valores cercanos a 1 indican un mayor uso de las estructuras, mientras que los valores cercanos a 0 señalan poco uso de ellas.

5.5.5.3 Índice de atropello como parámetro de uso de pasos de fauna

Se lleva a cabo haciendo recorridos periódicos a pie o en vehículos (a una velocidad no mayor a 45 km/h), durante el inicio de la operación del proyecto se realizarán recorridos prospectivos durante los primeros ocho días de cada mes en un horario de 06:00 a 10:00 h y de 16:00 a 18:00 h. Los datos se deberán ingresar en una base de datos, generando mapas en un Sistema de Información Geográfica (SIG), que proporcionarán imágenes

precisas de las zonas con mayor densidad de atropellamientos, así como posibles puntos de conflicto en el área de influencia del proyecto (Puntos negros). La localización y frecuencia de los atropellamientos registrados y sus índices asociados, servirán de referencia para analizar y comparar los índices de atropellamiento del proyecto, una vez que hayan sido construidas las obras de drenaje y/o pasos de fauna.

El parámetro utilizado para cuantificar la frecuencia de atropellos es el *Índice kilométrico de abundancia (IKA)*.

$$IKA = \frac{a}{k(t)}$$

Donde:

a = número de atropellamientos para una especie (o para el conjunto de ellas) en la carretera

K = extensión (km) de la carretera prospectada

t = tiempo de recorrido (días o años) en la carretera

El índice de atropellamientos permite conocer en qué puntos de la carretera o en qué carreteras ocurren con mayor frecuencia este fenómeno, de qué especie es la mayor parte de víctimas y en qué temporadas es más común observar el fenómeno.

Para disminuir la incidencia de atropellamientos de fauna silvestre en los tramos del proyecto, se colocará señalamiento preventivo sobre la presencia de fauna en la carretera. Estas señales se instalarán por lo menos 1 cada 2 km, especialmente en la zona que comprende la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala.

La información de este proyecto pertenece a la Ref. 18

6 CONCLUSIONES

Aunque los pasos de fauna sea un tema que existe en el mundo desde mediados del siglo pasado, en nuestro país es un tema relativamente reciente en donde cada vez es más necesaria la presencia de estas estructuras en las carreteras, autopistas y vías férreas de México. Por ello, además de la urgencia de actualizar la normativa existente sobre el diseño de carreteras, también es imprescindible que tanto en esa misma normativa como en la correspondiente a trámites de permisos, se exija la construcción de pasos de fauna o la adecuación de estructuras existentes que puedan tener esa función.

La presencia de estos pasos no sólo ayuda a la restauración de los ecosistemas alterados por la infraestructura vial y a la sobrevivencia de especies de fauna silvestre (en especial aquellas en riesgo de extinción), sino que son de gran ayuda para evitar accidentes fatales entre conductores y fauna, resguardando al mismo tiempo la seguridad humana.

A lo largo de esta tesina se explicó la importancia de la conexión entre hábitats, así como otras medidas de mitigación del impacto ambiental ocasionado por infraestructura vial, encontrando que aunque hay más sencillas y de menor costo, su eficacia es muy reducida en comparación con los pasos de fauna, los cuales representan un mayor costo en el proyecto, pero a largo plazo obtienen mejores resultados que las demás alternativas.

Las características geométricas y constructivas descritas para cada tipo de paso enunciadas en este trabajo, son una buena referencia para el diseño de futuros pasos de fauna pero no significa que no puedan realizarse variaciones al diseño, pues eso depende de las características y presupuesto del proyecto, de condiciones geográficas, geológicas, hidráulicas, hidrológicas y del tipo de fauna que exista en la región.

Pero los pasos de fauna no son efectivos por sí solos, sino que dependen de otros elementos y factores para lograr un uso exitoso, los cuales son:

El vallado, es un elemento importante para la efectividad de los pasos, pues ayuda a dirigir a los animales a las estructuras, o bien restringe su acceso a la carretera, razón por la cual es importante que se coloque de manera adecuada y de acuerdo a las especies que se desplazan en la zona.

Otro elemento que complementa la funcionalidad de estas estructuras es el señalamiento, dado que en la mayoría de los casos no es posible cercar todo el tramo carretero, especialmente si atraviesa una Reserva de la Biósfera.

Un factor relacionado con el señalamiento es la cultura vial y la concientización de la población para comprender su importancia y significado, evitando así provocar daños a la fauna o así mismos.

Finalmente abordé el tema de casos de pasos de fauna en México, en donde aún no se construye un número suficiente de pasos en comparación a otros países, pero el tema cada vez tiene mayor presencia en los actuales proyectos carreteros. Espero que las propuestas de diseño de pasos de fauna que describo en el capítulo dedicado a nuestro país, algún día se lleven a cabo y operen exitosamente.

7 RECOMENDACIONES

Se solicita a la SCT incluya en su Normativa para la Infraestructura del Transporte y en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, lo relativo al diseño, construcción, operación, mantenimiento y seguimiento de los pasos de fauna. Así mismo también se solicita a la SEMARNAT genere Normativa para designar situaciones en donde se requiere la inclusión de pasos de fauna y metodologías para evaluar el desempeño de los mismos.

8 GLOSARIO

Caminos o carreteras: De acuerdo a la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal; se definen como:

- a) Los que entronquen con algún camino de país extranjero.
- b) Los que comuniquen dos o más estados de la Federación.
- c) Los que en su totalidad o en su mayor parte sean construidos por la Federación, con fondos federales o mediante concesión federal por particulares, estados o municipios.

Carcasa: Resto de algún organismo.

Conectividad ecológica: Es una gran región a través de la cual las áreas protegidas existentes (parques nacionales, reservas biológicas), o los remanentes de ecosistemas originales, mantienen su conectividad mediante actividades productivas en el paisaje intermedio que permite el flujo de las especies

Corredor ecológico: Son áreas generalmente alargadas, que conectan dos o más regiones. Pueden ser franjas estrechas de vegetación, bosques ribereños, túneles por debajo de carreteras, plantaciones, vegetación remanente o grandes extensiones de bosques naturales. El requisito es que mantengan conectividad entre los extremos para evitar el aislamiento de las poblaciones.

Cruzamiento: Obra superficial, subterránea o elevada que cruza de un lado a otro una vialidad.

Cuenca de captación: La zona de procedencia de los animales que utilizarán el paso.

Fragmentación de hábitats: Es la división de hábitats naturales en porciones aisladas, donde la barrera que origina la separación es, en la mayoría de los casos, producto de la actividad humana.

Instalación marginal: Obra para la instalación o tendido de ductos, cableado y similares que se construyen a 2.5 metros dentro del límite del derecho de vía de una carretera, que podrá removerse por la Secretaría cuando las necesidades del servicio lo requieran.

Metapoblaciones: Son las subpoblaciones resultado de la división de una población más grande, las cuales varían en tamaño y en dinámica pero se relacionan con otras por medio de la emigración e inmigración de sus individuos.

Monumentos arqueológicos: Son los bienes muebles o inmuebles, producto de culturas anteriores al establecimiento de la hispana en territorio nacional, así como los restos humanos, de flora y de fauna, relacionados con esas culturas.

Monumentos históricos: Son los bienes vinculados con la historia de la nación, a partir del establecimiento de la cultura hispánica en el país, en los términos de la declaratoria respectiva o por determinación de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas en su artículo 36º.

Sistema Ambiental Regional (SAR): Es el o los ecosistemas en donde se establecerá el proyecto. Se puede delimitar por la presencia de uniformidad y continuidad de sus componentes y procesos ambientales significativos (flora, suelo, hidrología, corredores biológicos, etc.).

Ungulados: Mamíferos que se caracterizan por desplazarse sobre pesuñas en cada una de sus cuatro patas.

Vías generales de comunicación: Se refiere a toda la infraestructura de caminos y puentes en la Federación. Son parte de las vías generales de comunicación los terrenos necesarios para el derecho de vía, las obras, construcción y demás bienes y accesorios que se integran a las mismas.

Zona aledaña: Predio lindante con una carretera federal hasta una distancia de 100 metros contados a partir del límite del derecho de vía.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "Manual de procedimientos para el aprovechamiento del Derecho de Vía en Caminos y Puentes de Cuota", Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 1997.
2. "Reglamento para el aprovechamiento del Derecho de Vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas", Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 1992. Última reforma Diario Oficial de la Federación 08-08-2000.
3. "Ley de Caminos y Puentes y Autotransporte Federal", Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 1993. Última reforma Diario Oficial de la Federación 04-06-2014.
4. "Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas", México, 1972. Última reforma Diario Oficial de la Federación 28-01-2015.
5. "Reglamento de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas", México, 1975. Última reforma Diario Oficial de la Federación 05-01-1993.
6. "Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión y cambio-lista de especies en riesgo."
7. Álvarez Jiménez G. et al. "Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte. Número 1", Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio del Medio Ambiente. 108 pp. Madrid, 2006.
8. Iuell et al. "Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones", Edición en castellano, Organismo Autónomo de Parques Nacionales. 166 pp. 2005.
9. Puc Sánchez, J. I., Delgado Trejo C., Mendoza Ramírez E., Sauzo Ortuño I., "Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México", CONABIO, Biodiversitas, 111:132-16. México, 2013.
10. Arroyave M. P., Gómez C., Gutiérrez M. E. et al., "Impactos de las carreteras sobre fauna silvestre y sus principales medidas de manejo", Revista EIA ISSN 1794-1237, Número 5, p. 45-47. Escuela de Ingeniería de Antioquía, Medellín, Colombia, 2006.
11. "Wildlife Crossing Structure Handbook, Design and Evaluation in North America", Publication No.FHWA-CFL/TD-11-003. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. March 2011.
12. Legislación N-leg-3/07, parte 3: Ejecución de obras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
13. <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/corredoresbio.html>

14. Ponencia de Resolución de la obra: "Ampliación de la carretera Villahermosa-Escárcega" del km 123+300 al km 154+600, en los estados de Tabasco y Chiapas, SCT.
15. "Programa de pasos de fauna", Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Regional para la Ampliación de 7 a 12 m de la Carretera San Pedro-Cuatrociénegas tramo km 130 a Cuatrociénegas, con una longitud aproximada de 50 km, en el estado de Coahuila. Biología Integral en Impacto Ambiental.
16. "Propuesta para la ubicación y dimensión de pasos de fauna", Programa de rescate y reubicación de flora, para el proyecto: Manifestación de Impacto Ambiental modalidad regional para la carretera acceso a Calakmul, con una longitud de 63 km, en el estado de Campeche. Biología Integral en Impacto Ambiental.
17. "Propuesta de ubicación de pasos de fauna", Manifestación de impacto ambiental, modalidad Regional, por la ampliación del ancho de corona de 7 a 21 m del tramo Imuris-Cananea de la carretera Imuris-Agua Prieta en el Estado de Sonora (77Km).
18. "Propuesta de ubicación y dimensión de pasos de fauna", Ampliación de la carretera Manzanillo-Puerto Vallarta, tramo El Tuito-Melaque, del km 0+000 al km 116+310 y del km 148+330 all km 169+396, en el estado de Jalisco. Grupo Selome.
19. <http://www.jornada.unam.mx/2006/11/07/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie> "Peligran dos especies de cangrejo por la urbanización incontrolable".