



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEDIDAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL EN PROYECTOS DE
VÍAS TERRESTRES (PASOS
PARA FAUNA SILVESTRE)**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Juan Elizalde Martinez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Enrique César Valdez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

A Dany, Pao y Lore

MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN PROYECTOS DE VÍAS TERRESTRES (PASOS PARA FAUNA SILVESTRE)

CAPÍTULO 1 INTRODUCCION.....	3
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES	4
2.1 MARCO JURÍDICO AMBIENTAL EN MÉXICO	4
2.2 LA PARADOJA DEL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	5
2.3 LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	7
2.4 LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL MIA Y LAS ETAPAS DEL PROYECTO.....	8
2.5 OBJETIVOS.....	15
2.6 ALCANCE.....	15
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO.....	16
3.1 PÉRDIDA O FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT DE LAS COMUNIDADES ANIMALES.	16
3.2 EFECTO BARRERA.....	17
3.3 MORTALIDAD CAUSADA POR ATROPELLO Y COLISIONES CON VEHÍCULOS	19
3.4 PERTURBACIONES AMBIENTALES POR LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS TERRESTRES.....	22
3.5 CAMBIO DE FUNCIONES ECOLÓGICAS EN LAS MÁRGENES DEL PROYECTO.....	23
3.6 EFECTO DE BORDE	24
3.7 IMPACTO ECONÓMICO DE LAS COLISIONES ENTRE VEHÍCULOS Y ANIMALES	24
3.8 PROPUESTAS Y SOLUCIONES.....	27
CAPÍTULO 4 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y LOS PASOS PARA FAUNA SILVESTRE COMO MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (ESTADO DEL ARTE)	28
4.1 LA CONFERENCIA DE ESTOCOLMO.....	28
4.2 CUMBRE DE RÍO	30
4.3 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)	31
4.4 PASOS PARA FAUNA SILVESTRE EN MÉXICO, IMPLICACIONES TÉCNICAS EN LA INGENIERÍA CIVIL	34
4.5 PLANIFICACIÓN Y UBICACIÓN ESTRATÉGICA.....	34
4.6 TIPOS DE PASOS PARA FAUNA.....	35
4.6.1 <i>Paso Inferior para Fauna (PIFA)</i>	37
4.6.2 <i>Paso Superior para Fauna (PSFA)</i>	38
4.6.3 <i>Obra de drenaje adaptada para función mixta (paso de agua y paso para fauna)</i>	39
4.6.4 <i>Paso para fauna embebido en la infraestructura lineal</i>	44
4.6.5 <i>Paso aéreo para fauna arborícola</i>	48
4.6.6 <i>Obra para el paso y protección de fauna voladora</i>	51
4.6.7 <i>Paso temporal para invertebrados migratorios</i>	53
4.6.8 <i>Paso para fauna acuática</i>	54
4.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS A LOS PASOS PARA FAUNA.....	56
CAPÍTULO 5 CASOS DE ESTUDIO.....	61
5.1 CASO 1 LIBRAMIENTO “TINTAL-PLAYA DEL CARMEN” ESTADO DE QUINTANA ROO	61
5.1.1 <i>Características principales del Libramiento Tintal-Playa del Carmen</i>	62
5.1.2 <i>Índice de atropellamiento en vías terrestres aledañas al Proyecto</i>	63
5.1.3 <i>Criterios para la ubicación de los pasos para fauna</i>	68
5.1.4 <i>Construcción de pasos para fauna silvestre en el Libramiento Tintal-Playa del Carmen</i>	75
5.1.5 <i>Paso Superior Fauna Mediana (PSF-M)</i>	76
5.1.6 <i>Paso Superior Fauna Mediana y Grande (PSF-MG)</i>	76
5.1.7 <i>Pasos inferiores de Fauna (PIF) Superclaro</i>	78
5.1.8 <i>Pasos Aéreos para Fauna (PAF)</i>	81
5.1.9 <i>Tubos: Paso Superior para Fauna pequeña (PSF)</i>	84

5.2	CASO 2 AUTOPISTA “JALA – PUERTO VALLARTA, TRAMO COMPOSTELA II – LAS VARAS – BUCERÍAS – ENTRONQUE LIBRAMIENTO PUERTO VALLARTA”	86
5.2.1	<i>Características geométricas del proyecto</i>	86
5.2.2	<i>Selección de la ruta del proyecto</i>	87
5.2.3	<i>Los corredores de jaguar en Nayarit</i>	89
5.2.4	<i>Criterio para la propuesta de túneles</i>	93
5.2.5	<i>Propuestas de pasos para Jaguar</i>	94
5.3	CASO 3 “MANUAL DE DISEÑO DE PASOS PARA FAUNA SILVESTRE EN CARRETERAS”	100
5.3.1	<i>Estructura del Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre en Carreteras</i>	101
5.3.2	<i>Tipos de pasos para fauna establecidos en el Manual de diseño</i>	102
5.3.3	<i>Desarrollo de los planos orientativos de los pasos para fauna contenidos en el Manual</i>	102
	CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES	127
	BIBLIOGRAFÍA	129
	GLOSARIO	134
	INDÍCE DE TABLAS	135
	INDICE DE FIGURAS	136

CAPÍTULO 1 INTRODUCCION

El presente documento se elaboró con base en la experiencia obtenida durante mi participación en diversos estudios de Impacto Ambiental, Estudios Técnico Justificativos, Excenciones de Manifestaciones de Impacto Ambiental entre otros trabajos, así como en la elaboración de propuestas técnicas para el diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras y vías férreas.

Habiendo colaborado durante varios años con la empresa Grupo SELOME S.A. de C.V. fue posible integrarme a un grupo multidisciplinario formado por Biólogos, Geólogos, Abogados, Geógrafos e Ingenieros Ambientales. Mi participación en la elaboración de las Manifestaciones de Impacto Ambiental en proyectos de vías terrestres consistió en la descripción de los proyectos, así como la interpretación de las necesidades geométricas y técnicas de proyectos carreteros por una parte y por la otra, en la correspondiente interpretación y adaptación de las medidas de mitigación propuestas por los biólogos atendiendo las necesidades planteadas después del análisis ambiental.

En este documento planteo como primer caso de estudio la Manifestación de Impacto Ambiental del Libramiento “Tintal-Playa del Carmen” en el Estado de Quintana Roo con una longitud de 54 kilómetros en la cual participé en la descripción del proyecto realizando recorridos a lo largo del trazo para la identificación de dolinas, cenotes y otros cuerpos cavernosos, elaboración de diseños preliminares para la propuesta de los pasos par fauna silvestre de jaguares y otras especies así como en la interpretación de los procesos constructivos con la finalidad de facilitar la identificación de los impactos adversos y las consiguientes medidas de mitigación.

En el segundo caso de estudio, Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto: Autopista “Jala – Puerto Vallarta, tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – Entronque Libramiento Puerto Vallarta” mi participación se fundamentó en la identificación de las características fisiográficas relevantes en campo de los sitios más álgidos para la elaboración de propuestas de pasos para fauna silvestre principalmente de jaguar, la interpretación de los procesos constructivos para definir las medidas de mitigación más convenientes así como la descripción general del proyecto y las características geométricas más relevantes del mismo, en este sentido se planteó, por ejemplo, la conveniencia de la construcción de un túnel para favorecer la conservación del medio ambiente natural por donde se moviliza el jaguar, todo ello con base en estudios biológicos y evidencia científica como se verá más adelante.

En el tercer caso de estudio se destaca mi participación en la elaboración del “Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre” elaborado en conjunto con el equipo de biólogos de la empresa Grupo SELOME S.A de C.V. y publicado por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) a través de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). En este documento se plasmaron las principales ideas y experiencias recogidas a lo largo de más de una década de trabajos relacionados con la elaboración de propuestas de pasos para fauna silvestre en carreteras mexicanas. De acuerdo con los diferentes tipos de fauna en territorio mexicano y con base en mis conocimientos en construcción, estructuras, vías terrestres e hidráulica entre otros, se desarrollaron las propuestas y los planos orientativos mostrados en el manual. El “Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre” se encuentra a disposición del público en general en la página de la Dirección de Servicios Técnicos de la SICT en la siguiente liga:

<https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/normativa/manuales/>

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

El transporte de personas y bienes materiales a lo largo del territorio Mexicano es una de las actividades más importantes para la economía nacional, y también motivo de investigación y búsqueda de soluciones cada vez más eficientes en cuanto a temas como tiempos de traslado, reducción de gastos por consumo en combustibles, peajes, velocidades de tránsito o seguridad, la atención a la solución de estos temas ocupan frecuentemente la mayor parte de la atención de los ingenieros proyectistas con respecto a otros ámbitos no menos importantes como la conservación del medio ambiente y la búsqueda de una menor afectación al estado natural de las zonas por donde se proyectan las vías terrestres, no obstante que desde hace varias décadas se ha abordado el tema de manera formal y actualmente constituye un tema de fundamental interés.

Se estima que las vías terrestres junto a los embalses hidráulicos, son las obras de infraestructura que mayor impacto tienen en la naturaleza en términos de superficie de afectación. En el caso de un embalse la superficie de afectación queda determinada por una combinación entre la topografía de la zona inundada y la capacidad de almacenamiento del embalse generando una gran superficie de afectación, análogamente, en la construcción de vías terrestres como carreteras o vías férreas la superficie de afectación depende prácticamente de la combinación entre la topografía de las zonas por donde cruzará el proyecto, el ancho de la vía proyectada y la longitud de la misma. Para el caso particular de las vías terrestres el equilibrio en la relación Costo-Beneficio en un proyecto de carreteras se logra a través del balance entre factores como la velocidad de proyecto, la pendiente en la rasante, el número de carriles, el tránsito proyectado y desde luego la topografía en cada tramo.

A nivel de afectaciones a un ecosistema, los desarrollos carreteros y ferroviarios tienen un efecto significativo en la dinámica de la hidráulica superficial y sub-superficial de la zona donde se desarrollan, afectan el microclima, incrementan la presencia de contaminantes y ruido derivados de los automotores y se modifica el área de distribución de especies de plantas y animales. Los proyectos de infraestructura lineal como las carreteras o vías férreas actúan como barreras físicas limitando el movimiento y migración de especies animales lo que reduce la conectividad de sus poblaciones y aumenta la fragmentación de su hábitat en un fenómeno que se conoce como “Efecto Barrera”.

2.1 Marco Jurídico Ambiental en México

En México, las políticas para la protección de la biodiversidad son emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y es a través del documento conocido como **Manifestación de Impacto Ambiental** (MIA) que se realiza la evaluación del Impacto Ambiental provocado por la construcción de cualquier proyecto de Infraestructura lineal (Carreteras o vías férreas) apoyándose jurídicamente en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) vigente desde 1988.

En marzo del 2021, la Cámara de Diputados aprobó por unanimidad la adición del artículo 22 Bis de la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, a fin de establecer que para el diseño de nuevas construcciones de caminos, carreteras y autopistas, así como en la modernización de las existentes, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, observando la protección y conservación de los ecosistemas, deberá contemplar, en su diseño y en su plan de conservación, la implantación de pasos para fauna silvestre.

En junio del 2021, la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) publicó el “*Manual para el Diseño de Pasos de Fauna Silvestre en Carreteras*”¹ con el objetivo de minimizar el impacto de las carreteras en los corredores biológicos y disminuir la pérdida de biodiversidad, que provocan las carreteras al fragmentar los ecosistemas.

2.2 La paradoja del diseño y la evaluación del impacto ambiental.

Resulta notable que mientras en el desarrollo de un proyecto de vías terrestres se toma muy en cuenta la importancia de la permeabilidad hidráulica en virtud de los costos que sobre el proyecto mismo implicaría no hacerlo, históricamente no ha sucedido lo mismo con respecto a la permeabilidad necesaria para el cruce de la fauna local quizá porque regularmente no se toman en cuenta los costos que a largo plazo implican los atropellamientos de seres vivos incluido el impacto económico en términos del pago de daños en los vehículos e infraestructura, gastos médicos por accidente y sobre todo la pérdida de vidas humanas y la pérdida tanto de especies como de su hábitat.

De manera que para poder plantear concretamente durante la etapa de planeación los impactos adversos de la construcción de una carretera o vía férrea será necesario contar con un anteproyecto, no obstante, durante la fase de planeación no es posible contar aun con el anteproyecto por lo cual el proceso se vuelve cíclico muchas veces regresando a replantear el trazo y con ello modificar el anteproyecto.

De acuerdo con el Manual de proyecto geométrico de carreteras 2018² (SICT), los atributos "deseables" para una carretera son: alta seguridad, mínimo impacto ambiental adverso, mesurada economía, rapidez adecuada, máxima comodidad, alta durabilidad, buena accesibilidad, excelente conectividad y alto desempeño de la función para la que fue construida. De estos atributos se estima que la seguridad, el impacto ambiental y la economía constituyen los atributos más importantes toda vez que el cumplimiento de los mismos conlleva inherentemente al cumplimiento del resto.

De manera general, el protocolo estándar utilizado para la planeación de un proyecto de carreteras lleva en la práctica a los ingenieros proyectistas a considerar un método iterativo de tres etapas:

- Selección de ruta
- Anteproyecto
- Proyecto ejecutivo

En una dinámica típica de diseño de un proyecto carretero se comienza con la selección de ruta, previa investigación topográfica, se establecen los alcances en cuanto a costos de construcción, demanda, tránsito promedio, velocidad de proyecto y otros factores económicos, posteriormente, se realiza un anteproyecto donde se definen las dimensiones más convenientes relativas a velocidades, pendientes, rasantes y se considera la permeabilidad hidráulica mediante un proyecto alternativo de obras de drenaje el cual implica el estudio completo de la hidrología superficial y la intensidad de las precipitaciones

¹ Manual para el Diseño de Pasos de Fauna Silvestre en Carreteras, DGST-SICT,2021 (Ref. 1)

² Manual de Proyecto Geométrico 2018, SICT (Ref.2)

probables en la zona que eventualmente pudieran comprometer la integridad física del proyecto mismo. Durante esta etapa se efectúa la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) de acuerdo con la LGEEPA³, la MIA se fundamenta en la ruta seleccionada que establece el anteproyecto mismo por lo cual es común que se efectúen ajustes durante este proceso como se puede apreciar en el siguiente diagrama de procesos de la **Figura 1** Diagrama de procesos para el desarrollo de un proyecto ejecutivo de vías terrestres.

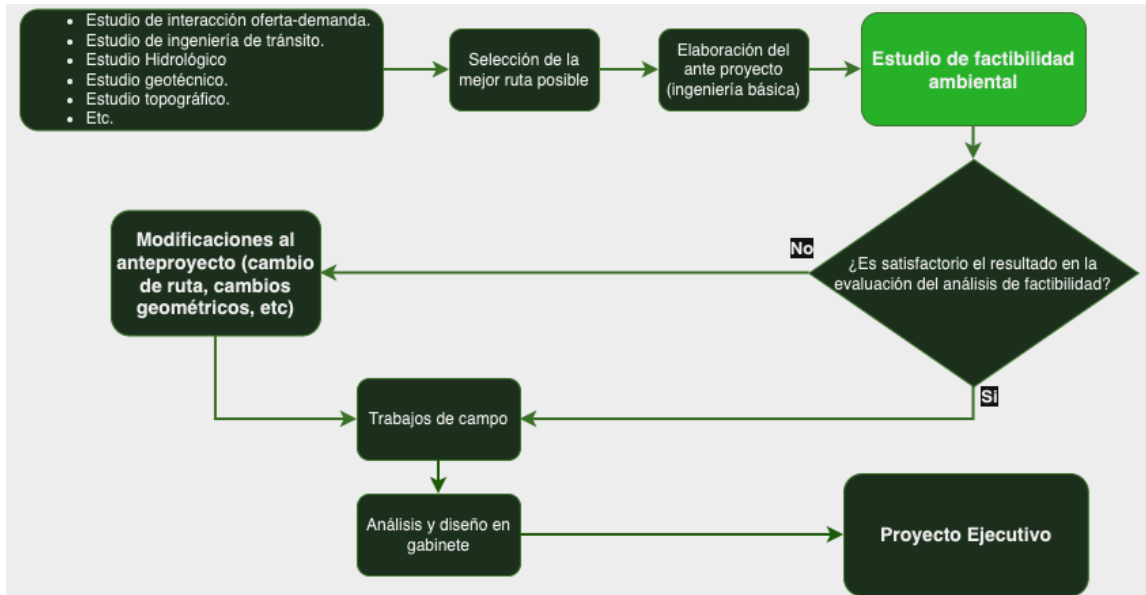


Figura 1 Diagrama de procesos para el desarrollo de un proyecto ejecutivo de vías terrestres

Fuente: Elaboración propia

Existe un análisis denominado “*Estudio de Factibilidad Ambiental*” cuya realización reditúa una enorme utilidad en términos de la planeación del proyecto, este análisis se efectúa previamente a la MIA y en algunos casos permite evaluar la posibilidad de presentar la exención de la misma; El Estudio de Factibilidad Ambiental permite detectar de manera temprana los impactos más significativos de un proyecto de carretera facilitando la toma de decisiones. Buena parte de estos impactos tendrán afectación en el hábitat de algunas especies de animales silvestres sobre todo aquellas que constantemente se encuentran moviéndose en un amplio territorio o cuando por causas de migración natural efectúan recorridos que eventualmente se cruzan con el trazo de la infraestructura lineal como es común en la mayor parte del territorio mexicano.

De acuerdo con el MPGC 2018⁴, “*La evaluación del impacto ambiental es el proceso de predicción y valoración de los efectos biofísicos, sociales o de otra índole que son ocasionados por la materialización de un proyecto, la identificación de medidas de mitigación sus efectos y costos; así como la determinación de los compromisos necesarios para su realización. Comprende dos aspectos: el estudio de impacto ambiental propiamente dicho, que consiste en la predicción de consecuencias y establecimiento de las*

³ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente LGEEPA (Ref.3).

⁴ Manual de Proyecto Geométrico (Ref. 2)

correspondientes medidas de mitigación y la manifestación de impacto ambiental que, con base en el estudio anterior, establece los compromisos de mitigación y protección al medio ambiente, los que deben precisarse mediante un proyecto de mitigación de impacto ambiental (DOF-1988, DOF- 2004)”.

2.3 La evaluación del Impacto Ambiental

La metodología de evaluación del Impacto Ambiental en vías terrestres como carreteras o vías férreas por construir comprende tres etapas generales:

- I. Etapa de análisis. - En esta etapa se analiza el anteproyecto en relación con el estado físico actual de la zona en que se pretende implementar, se realiza un inventario de todos los elementos existentes y se determinan las consecuencias posibles por la eventual construcción del proyecto en el ámbito físico (clima, aire, agua, suelo, ruido), biológico (fauna, flora, ecosistemas) y humano (población, cultura, valores patrimoniales históricos, estética y paisaje).
- II. Etapa de valoración. - En esta etapa se determina el alcance de las consecuencias y se proponen alternativas de mitigación a los posibles impactos adversos.
- III. Etapa de mitigación. - En ella se implementan, mediante un proyecto de mitigación de impacto ambiental, las acciones que contribuyan a paliar los efectos adversos y se determinan los efectos residuales que persistirán a pesar de las medidas.

Una vez realizada, evaluada y autorizada la MIA en los términos que disponga la SEMARNAT se procede a la modificación del anteproyecto de acuerdo con lo que establezca el resolutivo emitido para que, una vez resueltas las condicionantes del dictamen emitido se efectúen las modificaciones correspondientes y se obtenga finalmente el proyecto ejecutivo.

Las modificaciones al proyecto pueden ser de distinta índole toda vez que se busca garantizar la mínima afectación al medio ambiente y a las condiciones naturales originales. Estas modificaciones forman parte de las Medidas de Protección Ambiental a las que se hará referencia en este documento. En este punto, cabe la posibilidad de que las soluciones para mitigar los impactos adversos al medio ambiente alteren el balance económico del proyecto llevando la situación en ocasiones a invertir una cantidad importante de recursos tan solo en la mitigación de los impactos adversos lo cual genera a su vez ajustes presupuestales y de tiempo en el programa de obra. Regularmente estos ajustes no son bien vistos por los gerentes del proyecto debido a que el replanteamiento de las obras y sus tiempos de ejecución no resultan ser tan flexibles una vez iniciados los trabajos.

Las medidas de protección ambiental requeridas por el proyecto quedan de manifiesto en la Evaluación del Impacto Ambiental (Manifestación de Impacto Ambiental). Este documento es un proceso sistemático instituido en muchos países mediante el cual la autoridad competente en la materia analiza los impactos potenciales benéficos o adversos que el proyecto de infraestructura generará al medio ambiente del sitio en donde se pretenda realizar. De allí la importancia de la planeación del proyecto por etapas ya que resulta más conveniente y facilita la visualización de los efectos generados sobre el medio ambiente.

2.4 La Manifestación de Impacto Ambiental MIA y las etapas del proyecto

En México el proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) se encuentra instituido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el cual aplica a aquellos proyectos de infraestructura que tengan algún impacto ambiental sobre los componentes de jurisdicción federal como el agua o las áreas naturales protegidas. Para los casos que no aplican las leyes federales es competencia de los estados la evaluación del impacto ambiental.

Para fines de la elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental, en cuanto a la evaluación de los impactos generados, el proyecto se divide en 3 etapas temporales conocidas como:

- I. Etapa de Preparación del proyecto
- II. Etapa de Construcción del proyecto
- III. Etapa de Operación y mantenimiento del proyecto

Existe una cuarta etapa considerada como el abandono de la obra una vez agotada la vida útil del proyecto, no obstante, en el ámbito de las vías terrestres esta etapa difícilmente se presenta en virtud de la necesidad de infraestructura que el país mantiene ya que cuando una carretera llega a su nivel máximo de utilización ya sea porque el nivel de tránsito conveniente ha sido alcanzado o sus condiciones físicas y geométricas son excedidas entonces se plantea una remodelación que generalmente consiste en ampliación de la sección transversal y la rectificación de curvas horizontales o verticales entre otras medidas con la intención de reaprovechar estos activos.

Durante la etapa de preparación del proyecto se describen todas aquellas actividades previas a la construcción del mismo como las gestiones legales y administrativas relacionadas con la adquisición del espacio físico o derecho de vía, la ubicación e instalación de las obras complementarias como patios de maquinaria y talleres para el mantenimiento y alojamiento del equipo de construcción, almacenes, bodegas de materiales y oficinas administrativas entre otros y en algunos casos la instalación de tapiales y campamentos de obra para alojar a los trabajadores.

Durante esta etapa las medidas de protección ambiental incluyen la instalación de sanitarios móviles y los planes de manejo de residuos sólidos urbanos, el ahuyentamiento y manejo de la fauna silvestre previa identificación, localización y análisis, la reubicación de nidos y madrigueras, rescate y protección de especies arbustivas o forestales que lo requieran según el paquete de medidas de mitigación propuestas en el resolutivo de la MIA aprobada y la capacitación ambiental del personal involucrado en el proyecto. Estas actividades son coordinadas, ejecutadas y supervisadas por especialistas en el área ambiental como Biólogos e Ingenieros Ambientales.

Durante la etapa de Construcción del proyecto se realizan las actividades convencionales como el trazo y la nivelación del eje de la vía mediante equipo topográfico, la delimitación del derecho de vía adquirido con mojoneras y estacas, el desmonte de zonas arboladas y arbustivas así como el despalme de acuerdo con los lineamientos generales de la SICT⁵ y una vez concluidas estas operaciones de acuerdo con el programa de obra inician los

⁵ Normas CTR-CAR emitidas por la SICT(Ref.4)

trabajos de corte o terraplén de acuerdo con lo indicado en la rasante para realizar las compensaciones que el proyecto establezca. Durante esta etapa se presenta la mayor actividad relacionada al movimiento de tierras y el uso intensivo de maquinaria de construcción pesada cuyo mantenimiento se realiza en los patios de maquinaria y talleres previamente establecidos.

Durante estas dos primeras etapas, la implementación de las medidas de protección al ambiente queda de manifiesto en actividades como el manejo de los residuos derivados del desmonte como el troceo de árboles, la recuperación del suelo orgánico mediante el acamellonamiento del mismo, el mantenimiento de la maquinaria de construcción empleada o en su caso las obras de protección contra la caída de materiales hacia los cuerpos de agua o cauces naturales existentes.

Durante la etapa de construcción se implementan las medidas de protección ambiental más significativas como el tratamiento de los residuos del desmonte y despalle para las actividades de reforestación y arroje de taludes, así como la construcción de los pasos de fauna considerados en la MIA lo cual constituye el principal objeto de este documento.

Finalmente, durante la etapa de Operación del proyecto las actividades principales corresponden a la operación y mantenimiento de la vía a lo largo de la vida útil de la misma. En esta etapa, las medidas de protección ambiental puestas en marcha incluyen la revisión y mantenimiento de las obras de drenaje hidráulico con la finalidad de evitar su azolve y asegurar el cruce seguro de la fauna local aprovechando la permeabilidad hidráulica, el retiro de basura, la poda y mantenimiento de la vegetación inducida o natural permitida dentro del derecho de vía, así como la revisión, monitoreo y mantenimiento de los pasos de Fauna.

En la actualidad el mantenimiento rutinario del derecho de vía incluye el “Deshierbe” que consiste en la poda o remoción y retiro de la vegetación existente en el derecho de vía, evitar la presencia de materia vegetal en el acotamiento y cunetas, impidiendo daños a estas estructuras y permitiendo una buena visibilidad de acuerdo con lo establecido en el proyecto⁶.

En la **Tabla 1** Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carreteras muestra la relación de las principales actividades involucradas en un proyecto típico de carreteras, la información en la primera columna toma en cuenta la etapa de desarrollo del Proyecto, en la segunda columna se presentan las distintas actividades que tendrá lugar para la ejecución del Proyecto y en la tercera columna se presentan de manera más puntual las obras o actividades derivadas de las anteriores, en ellas pueden inferirse las afectaciones al medio ambiente de acuerdo con la naturaleza de las mismas.

⁶ Ref. 5

Tabla 1 Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carretera

Etapa	Actividades principales	Obras o actividades asociadas
Preparación	Limpieza del área de trabajo	-Acopio temporal de material producto de la limpieza -Acarreo de material de desecho hacia banco de tiro.
	Trazo y Nivelación	-Replanteo de la geometría espacial del sitio. -Colocación de estacas y mojoneras de concreto. -Apertura de brechas por medios manuales (Chaponeo con machete)
	Señalización preventiva e informativa en vialidades existentes	-Colocación temporal de elementos de señalamiento. -Acopio temporal y resguardo del señalamiento.
	Construcción de Campamento personal para	-Instalación de tapial perimetral temporal. -Acopio de materiales ligeros de construcción. -Instalación de albergue temporal. -Instalación de sanitarios móviles. -Instalación de depósito temporal de agua potable. -Instalación eléctrica provisional. -Instalación temporal de caseta de vigilancia.
	Instalación de oficina de obra	-Instalación de oficina de obra móvil. -Instalación de sanitario móvil. -Instalación eléctrica de voz y datos provisional
	Construcción de Almacén	-Instalación de tapial perimetral temporal. -Construcción de firme de concreto simple para desplante. -Instalación de almacén temporal. -Instalación eléctrica y pluvial. -Instalación para residuos sólidos urbanos
	Construcción de Patio de Maquinaria y taller	-Instalación de tapial perimetral temporal. -Construcción de firme de concreto armado para desplante del taller. -Instalación del taller. -Instalación eléctrica y pluvial. -Instalación para residuos peligrosos.
	Desmonte	-Tala de árboles mecánica o manual. -Roza de maleza, hierba y zacate. -Desenraice y retiro de tocones. -Limpieza y disposición de los residuos vegetales en banco de tiro.

Tabla 1 Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carretera

Etapa	Actividades principales	Obras o actividades asociadas
	Despalme	-Remoción de suelo orgánico. -Acopio y disposición del material de despalme en banco de tiro.
	Construcción de caminos de acceso	-Remoción de suelo orgánico. -Acopio y disposición del material de despalme en banco de tiro. -Estabilización de cortes.
Construcción	Cortes	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación mecánica en suelos tipo A o B. -Extracción y movimiento de material excavado mediante maquinaria. -Uso de explosivos en suelos tipo C. -Extracción de material de rezaga producto de uso de explosivos. -Traslado de material a bancos de tiro. Estabilización de cortes(Gaviones, anclas, bermas, concreto lanzado, mallas, siembra de especies vegetales).
	Terraplenes	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Colocación y extendido de material producto de cortes por medios mecánicos. -Humectación del material por medios mecánicos. -Compactación de material por medios mecánicos. -Acarreo de material desde banco de préstamo.
	Construcción de obras de drenaje menor	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación para estructuras. -Cortes y terraplenes. -Habilitado de acero de refuerzo. -Cimbrado y colado de estructuras de concreto armado.
	Construcción de obras de drenaje mayor y viaductos	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación para cimentación. -Hincado de pilotes. -Cortes y terraplenes. -Habilitado de acero de refuerzo. -Cimbrado y colado de estructuras de concreto armado. -Izaje y ensamble de estructuras de acero.

Tabla 1 Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carretera

Etapa	Actividades principales	Obras o actividades asociadas
	Construcción de túneles	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación por medios mecánicos. -Excavación con explosivos. -Retiro de rezaga y material de excavación. -Apuntalamiento, cimbrado y revestimiento. -Obras de drenaje interior. -Instalación eléctrica. -Implementación de servicios de emergencia (PCI, comunicaciones, otros)
	Construcción de entronques	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Cortes y terraplenes. -Construcción de viaductos y gasas. -Acarreo y colocación de material de banco.
	Construcción de rampas de emergencia	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Cortes y terraplenes. -Construcción de foso. -Colocación de material granular.
	Construcción de estructuras de Pavimento	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Colocación y extendido de material de banco por medios mecánicos. -Humectación del material por medios mecánicos. -Compactación de material por medios mecánicos.
	Pavimentación	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Acarreo y colocación de pavimento asfáltico. -Compactación. -Habilitado y tendido de acero de refuerzo para pavimento hidráulico. -Acarreo y colocación de pavimento hidráulico.
	Drenaje superficial	-Excavación para cunetas. -Construcción de bordillos y lavaderos
	Pintura y señalización	-Pintado de carriles. -Colocación de señales preventivas.

Tabla 1 Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carretera

Etapa	Actividades principales	Obras o actividades asociadas
	Construcción de pasos para fauna	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación para estructuras. -Cortes y terraplenes. -Habilitado de acero de refuerzo. -Cimbrado y colado de estructuras de concreto armado. -Instalación de barrera de inducción. -Reforestación de la zona de cruce. -Instalación de sistema de monitoreo.
	Construcción de casetas de cobro	-Trazo y nivelación (replanteo en campo). -Excavación para cimentación de estructuras. -Construcción de casetas y bahías de cobro. -Instalaciones hidráulicas, sanitarias, pluviales, eléctricas y de comunicaciones.
Operación y mantenimiento	Conservación rutinaria de pavimento	-Calafateado y sellado de juntas. -Bacheo superficial. -Relleno de grietas. -Riego de asfalto. -Recorte o fresado superficial. -Reciclado asfáltico en planta -Reciclado asfáltico "in situ". -Reparación de losas de concreto hidráulico.
	Conservación rutinaria de puentes	-Limpieza. Reparación de elementos de concreto. -Repintado. -Reparación de juntas de dilatación.
	Reconstrucción de tramos	-Restitución del pavimento.
	Conservación de Taludes	-Inyección de lechadas para estabilización de taludes. -Reparación y reposición de gaviones. -Reparación de anclas.
	Reconstrucción de puentes	-Fresado. -Re-encarpetado. -Renivelación. -Reforzamiento de la subestructura o superestructura.

Tabla 1 Actividades y obras que son contempladas en su totalidad o de forma parcial en los Proyectos de Infraestructura Carretera

Etapa	Actividades principales	Obras o actividades asociadas
	Mantenimiento al Señalamiento	-Limpieza. -Reposición de señales.
	Atención a puntos de conflicto por accidentes	-Remolque de autos accidentados o descompuestos.
	Conservación de Drenaje superficial	-Limpieza de cunetas y contracunetas. -Restitución de bordillos y lavaderos.
	Conservación de obras de drenaje menor	-Limpieza de alcantarillas.
	Mantenimiento del derecho de vía	-Limpieza y recolección de residuos. -Chaponeo y deshierbe de acotamientos. -Chaponeo de hierba en derecho de vía.

Fuente: Manual de Factibilidad Ambiental DGST, SICT (Ref. 14)

Como se verá más adelante, la importancia de las medidas de protección ambiental va más allá de la colocación de pasos de fauna como alternativa de cruce o el mantenimiento de la infraestructura en una dinámica de protección contra los efectos del medio ambiente sobre la infraestructura sino constituye una adecuada integración entre el proyecto y el medio ambiente existente.

Resulta importante aclarar que durante cualquier etapa es necesaria la supervisión ambiental por parte de especialistas en la materia con el fin de verificar la correcta implementación de las medidas de protección descritas en la MIA. Un equipo óptimo de apoyo estaría conformado por especialistas en vegetación y fauna, habitualmente biólogos, e ingenieros ambientales entre otros, no obstante, es el ingeniero civil en quien recae finalmente la toma de decisiones y el liderazgo en cuanto a la planeación y ejecución de las diversas actividades de construcción, por ello, es de suma importancia la toma de consciencia por parte de los ingenieros de caminos y carreteras sobre la importancia de la planeación e integración correcta del proyecto.

2.5 Objetivos

Objetivo general.

El objetivo del presente documento es analizar a través de 3 casos de estudio los requerimientos técnicos para el diseño de pasos para fauna silvestre en vías terrestres como parte de las medidas de protección ambiental brindando soluciones técnicas basadas en el conocimiento y aplicación de la Ingeniería Civil a partir de las necesidades identificadas por profesionales de la biología.

Objetivos particulares.

- Elaborar y plantear propuestas de diseño de pasos para fauna silvestre para los distintos tipos de fauna existentes en el territorio mexicano estandarizando las características principales con objeto de proporcionar una guía de diseño en la planeación de las vías terrestres.
- Sintetizar la información proporcionada por profesionales de la biología para adaptar las obras de drenaje menor como pasos para fauna silvestre a partir de los diseños establecidos por la SICT.
- Mostrar los criterios que desde el punto de vista de la ingeniería civil fueron empleados para la elaboración de las propuestas de pasos para fauna durante la ejecución de los trabajos de la Manifestación de Impacto Ambiental de 2 Proyectos carreteros: “Libramiento Tintal-Playa del Carmen en el Estado de Quintana Roo” y “Autopista Jala – Puerto Vallarta, tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – Entronque Libramiento Puerto Vallarta” (ambos proyectos a cargo de la empresa GRUPO SELOME S.A. DE C.V.)
- Mostrar la colaboración realizada con la empresa GRUPO SELOME S.A. DE C.V. en la elaboración del “Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre en carreteras” publicado en 2021 por la Dirección de Servicios Técnicos DST de la SICT presentando en el caso de Estudio 3 un resumen de las actividades que como ingeniero civil desarrollé mediante la elaboración de propuestas y diseño de los planos orientativos y figuras del manual.

2.6 Alcance

El presente documento pretende constituirse como un elemento de análisis de la implementación de los pasos para fauna silvestre en las vías terrestres mexicanas que facilite al ingeniero diseñador (proyectista) la toma de decisiones en el marco de las necesidades de protección y preservación de la biodiversidad durante el proceso de planeación de las vías terrestres. El análisis aquí presentado queda circunscrito a la descripción y detallado del diseño de los pasos para fauna silvestre como medidas de protección ambiental desde el punto de vista de la Ingeniería Civil en México.

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO

Podemos definir al medio ambiente como: "El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados"⁷.

Cuando se construye una carretera se generana fectaciones en varios ámbitos del medio natural existente como la vegetación, el cauce de los escurrimientos superficiales o la fauna silvestre local. Los principales efectos directos sobre las poblaciones de fauna silvestre son:

- Pérdida o fragmentación del hábitat de las comunidades animales.
- Generación del "efecto barrera"
- Aumento de la mortalidad por atropellamiento o colisión con vehículos
- Perturbaciones ambientales construcción de vías terrestres.
- Cambio de funciones ecológicas en los márgenes del Proyecto
- Efecto de borde

Los efectos mencionados son inherentes a la construcción de un proyecto de vías terrestres ya que la zona en que se desarrollan se ve afectada directamente por la construcción de la vía en cuestión y al fragmentar el hábitat se producen una serie de afectaciones en cadena generando un desequilibrio en las condiciones naturales del sitio como la pérdida de territorio, pérdida de refugio, pérdida de recursos alimentarios y en consecuencia la pérdida de especies. Cabe mencionar que los efectos mencionados no son los únicos pues debemos agregar las pérdidas humanas y los efectos económicos.

3.1 Pérdida o fragmentación del hábitat de las comunidades animales.

El fenómeno conocido como fragmentación es el proceso en que áreas grandes y continuas de hábitat son reducidas y divididas en dos o más fragmentos o parches pequeños y aislados que quedan inmersos en una matriz con condiciones poco aptas para las especies que ahí habitan (Ecotono, 1986)⁸. Básicamente consiste en la división de territorios que de manera natural son fuente de recursos y soporte vital de numerosas especies locales y que por causa de esta división en áreas más pequeñas con frecuencia generan escasez de recursos para satisfacer las demandas mínimas de supervivencia de dichas especies forzándolas a movilizarse hacia otros territorios para subsistir o simplemente porque la naturaleza de ciertos individuos implica la territorialidad como sustento de vida.

Aunque es conocido que el fenómeno de la fragmentación comenzó con el desarrollo de la humanidad este se ha acelerado desde inicios del siglo pasado debido al inminente crecimiento de las vías terrestres como carreteras o vías férreas necesarias para generar la conexión entre grandes centros poblacionales humanos. La fragmentación de los

⁷ Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente LGEEPA (Ref.3)

⁸ Fragmentación y sus implicaciones (Ref. 15)

ecosistemas constituye una de las consecuencias más importantes del desarrollo de los proyectos de infraestructura lineal como las carreteras y las vías férreas.

Las causas fundamentales que generan este fenómeno básicamente pueden deberse a dos motivos actuando combinados o por separado:

- Necesidad de construir infraestructura para mejorar las condiciones de vida de cierta población o territorio.
- Mala planeación en el aprovechamiento de los recursos naturales y espaciales.

Del fenómeno de fragmentación del hábitat se derivan dos efectos principales:

- I. La fragmentación reduce el tamaño del hábitat de muchas especies en ocasiones a niveles que tal espacio de supervivencia deja de constituir un soporte viable para las poblaciones de especies más sensibles en términos de alimento y alojamiento.
- II. Generalmente los fragmentos quedan tan aislados que resulta imposible que los animales que habitan en ellos puedan cruzar hacia los otros en busca del sustento natural.

Por lo anterior se establece que la fragmentación del hábitat como consecuencia de la construcción de proyectos de vías terrestres y obras secundarias asociadas se ha convertido en uno de los peligros globales más importantes para la diversidad biológica.

3.2 Efecto barrera

Existen varios efectos que la construcción de vías terrestres genera sobre el medio ambiente en que se desarrollan y que afectan de manera negativa el hábitat de las especies como la pérdida del hábitat, la contaminación del aire y el suelo o el efecto barrera y la consecuente mortandad causada por atropellos y colisiones con vehículos⁹. En la práctica, estos efectos aparecen relacionados entre sí y su efecto se potencia por la combinación de ellos.

⁹ Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (Ref.6)

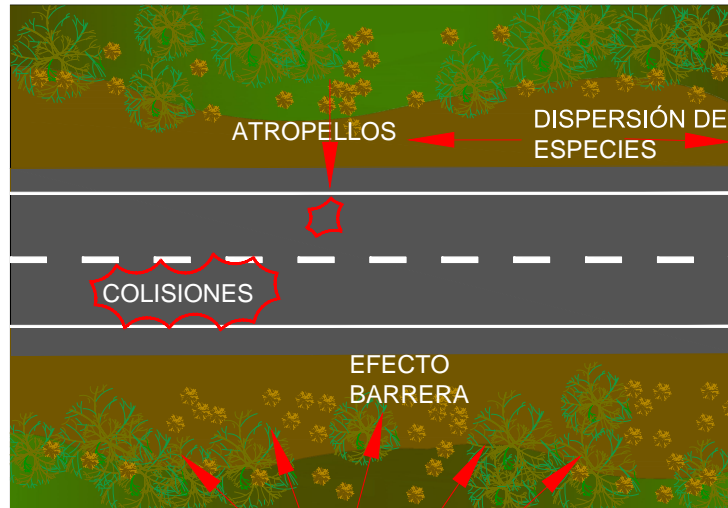


Figura 2 Representación de los efectos producidos en las especies animales por la construcción de una carretera

Fuente: Elaboración propia

El efecto barrera es probablemente el impacto negativo más importante que implica la construcción de vías terrestres ya que la capacidad de dispersión es uno de los factores clave para la supervivencia de las especies. Los animales necesitan desplazarse por un territorio determinado en busca de comida, refugio o para aparearse y esta capacidad de desplazamiento se ve afectada de manera negativa por las barreras físicas que constituyen los proyectos carreteros principalmente y los proyectos ferroviarios en segundo lugar. Estos impactos afectan la dinámica de las poblaciones poniendo en riesgo la supervivencia de las especies.

Podemos establecer dos tipos de barreras como efecto de la construcción de vías terrestres, las barreras físicas y las barreras de comportamiento, las primeras están constituidas por la propia infraestructura lineal las cuales para animales de talla grande como algunos mamíferos no son significativas a menos que se encuentren provistas de cercas o vallas empero para especies pequeñas como roedores o invertebrados las propias márgenes constituyen un reto significativo por las dimensiones con respecto a su propio tamaño y por lo inhóspito que resultan las márgenes y la propia vía. En el segundo caso las barreras de comportamiento son producidas por la misma molestia que las actividades antropogénicas producen en algunas especies las cuales regularmente evitan el ruido, los espacios abiertos y todo medio de contacto con el ser humano.

El efecto barrera puede ser evitado consiguiendo que la infraestructura sea lo más permeable posible a las especies de animales silvestres a través de la construcción de pasos de Fauna como se verá más adelante, adaptando las obras de drenaje hidráulico como pasos para el mismo propósito cumpliendo así una doble función, controlando la intensidad y velocidades del tránsito mediante reductores de velocidad así como también mediante una planeación que tome en cuenta de manera más consciente las consecuencias que el efecto barrera tiene en el hábitat para elegir la ruta más adecuada.

Existe una relación entre el nivel de tránsito que presenta una carretera y la permeabilidad que presenta para algunas especies de animales silvestres, esta relación toma en cuenta

el comportamiento y tamaño de algunas especies en particular, aunque deja fuera a la mayor parte de especies afectadas que por lo regular son de talla menor.

Tabla 2 Relación entre la intensidad del tráfico y el efecto barrera en los mamíferos

Intensidad del tráfico	Permeabilidad
Carretera con tráfico inferior a 1000 vehículos/día	Permeable a la mayoría de las especies
Carretera con 1000 a 4000 vehículos/día	Permeable a algunas especies pero evitada por las especies más sensibles
Carretera con 4000 a 10,000 vehículos/día	Las barreras, el ruido y el movimiento de vehículos pueden ahuyentar a muchos animales. Otros tratan de cruzarla y son atropellados
Autopistas con nivel de tráfico superior a 10,000 vehículos/día	Impermeable a la mayoría de las especies

Fuente: Fragmentación del hábitat causada por las infraestructuras de transporte (Ref. 8)

3.3 Mortalidad causada por atropello y colisiones con vehículos

El signo más notable del impacto negativo que las vías terrestres tienen en la biodiversidad es la muerte de mamíferos silvestres por atropellamiento. Hasta la fecha, se tienen registros de atropellamientos en la mayor parte de las carreteras de países como Estados Unidos y Australia no así en países que destacan por tener una alta diversidad de especies silvestres como México, Brasil, Ecuador e Indonesia. Los atropellamientos en carreteras de Estados Unidos se calculan en alrededor de un millón de vertebrados por año y para el caso de Australia la cifra es de aproximadamente cinco millones de anfibios y reptiles principalmente. Un gran número de accidentes y colisiones con la fauna no representa un peligro directo para las poblaciones de animales silvestres, pero indican que las especies que los sufren son muy abundantes en una zona concreta y con ello debe buscarse su protección.

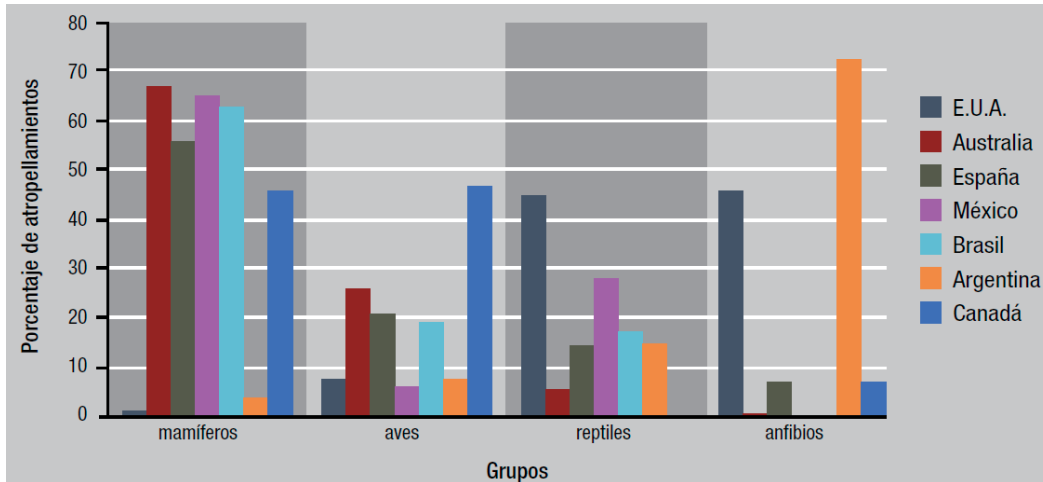


Figura 1. Comparación de grupos de vertebrados atropellados en estudios realizados en distintas partes del mundo.

Fuente: Clevenger et al., 2003; Arroyave et al., 2006; Tenés et al., 2007; Pfeifer et al., 2008; Attademo et al., 2011; Herrera, 2011; Martínez, 2011.

Estas cifras pueden ser subestimaciones de las reales si se toma en cuenta que por cada animal atropellado del que se tiene registrado existen varios más que pasan desapercibidos por tratarse de animales pequeños, porque son removidos por especies carroñeras, porque logran desplazarse fuera de la carretera antes de morir o porque se trata de madres que se encuentran criando a sus cachorros para los cuales evidentemente, como consecuencia del atropello de las madres reducirán sus probabilidades de supervivencia.

En México no se cuenta con estudios en materia de mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento; la información disponible forma parte de tesis o de estudios de organizaciones no gubernamentales que protegen alguna especie en particular.

De la estadística de accidentes en México, registrados y reportados al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de 1997 a 2020, el total de accidentes automovilísticos fue de 9,145,689, de los cuales 35,854 fueron colisiones con animal, es decir, un 0.39% en el periodo de análisis. (ver **Figura 3**).

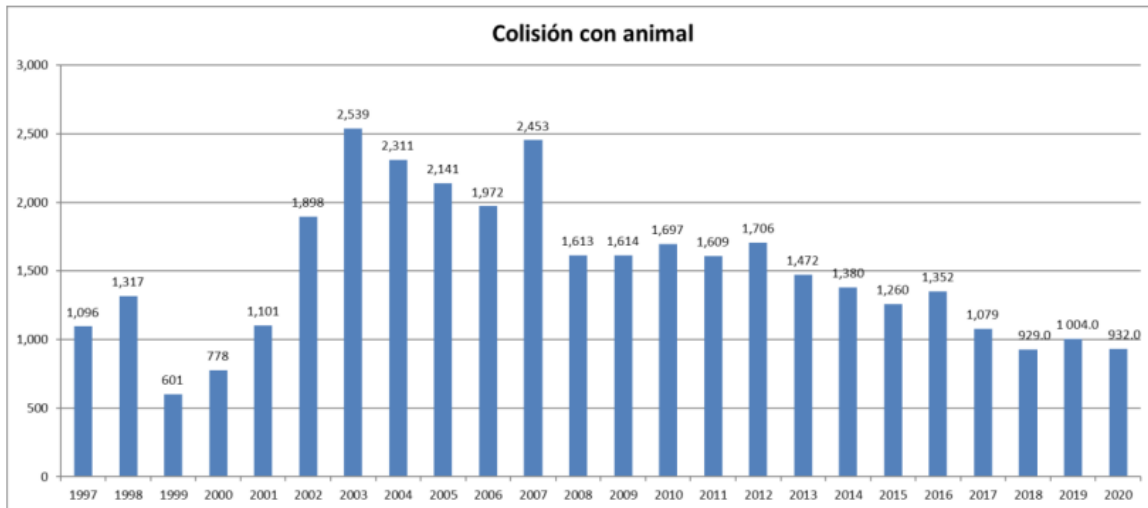


Figura 3 Número de colisiones vehículo-animal en México, 1997-2020

Fuente: Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras para México V2.0 (Ref. 9)

De acuerdo con la tesis: “*Monitoreo de fauna silvestre atropellada en seis caminos y carreteras del norte del estado de Veracruz*”¹⁰ presentada para la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, durante el período de marzo a julio del 2019 se evaluó la diversidad taxonómica de las especies faunísticas, así como las tasas de atropello de las mismas. En dicho estudio se realizaron ocho muestreos para cada camino y se obtuvieron 296 registros, donde se encontró que el grupo de los mamíferos (43.38%) fue el más perjudicado en cuanto a abundancia, seguido por las aves (36.03%), los reptiles (11.76%) y los anfibios (8.82%). Sin embargo, el grupo de las aves fue el mayormente afectado en cuanto a riqueza, ya que 16 especies se vieron impactadas por vehículos. Una de estas especies, la zarigüeya (*Didelphis marsupialis*) fue la más perjudicada probablemente por sus hábitos generalistas y nocturnos, por su gran movilidad y su densidad poblacional. Del mismo estudio se desprende el registro de una alta mortalidad de cangrejos (*Gecarcinus lateralis*) en el camino que dirige hacia playas de la barra norte de Tuxpan, Veracruz. lo cual puede deberse a la estacionalidad y período de reproducción de la especie, así como de su densidad poblacional en el área.

Asimismo, se efectuó una investigación recientemente emitida por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en 2022 que muestra los resultados del desarrollo de la versión 2.0 del “Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras” para México, cuyo objetivo es generar una base de datos mediante fotografías denominada WATCHMX que es una plataforma creada para monitorear la fauna que cruza las carreteras en México con el fin de desarrollar planes de mitigación que ayuden a evitar accidentes de los usuarios que utilicen la red vial del país, así como evaluar la pérdida de especies por atropellamiento¹¹.

¹⁰ Tesis “Monitoreo de fauna silvestre atropellada en seis caminos y carreteras del norte del estado de Veracruz”, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. (Ref. 10)

¹¹ WATCHMX “Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras para México” (Ref.9)

De acuerdo con este documento, en México, alrededor de 1,573 especies de fauna se encuentran en riesgo, de las cuales 528 pertenecen a la categoría de amenazadas, 720 se encuentran bajo protección especial, 282 están en peligro de extinción y 43 están probablemente extintas.

Las consecuencias de las colisiones de automóviles con la fauna silvestre han obligado a la búsqueda de soluciones encaminadas a reducir las incidencias y proteger su existencia. Como en todo problema de ingeniería, no existe una solución única para resolver todos los casos pues las variables involucradas, sus características y magnitudes se manifiestan por una parte en función de múltiples aspectos físicos como la topografía o el clima y por otra por el tipo de proyecto ya sea carretera o vía férrea, número de carriles, velocidad de proyecto, así como biológicos como el tipo de especie, estado de conservación, población existente, hábitos de conducta, etc. Las colisiones de vehículos con animales silvestres pueden implicar pérdidas humanas, y tener impactos en la economía del país y la sociedad.

La intensidad y concentración de los accidentes asociados con la fauna local en las vías terrestres varía en función de factores como la temperatura, la precipitación pluvial, la hora del día, los ciclos de reproducción de las especies, los patrones de migración estacional y los eventos estacionales como la cacería. El trazo proyectado para la vía también contribuye a la variación del nivel de mortalidad de las especies, por ejemplo, cuando éste es proyectado al borde de un pastizal o bosque resulta especialmente peligroso para especies que acuden a refugiarse o a alimentarse a estos sitios en determinadas épocas del año. La velocidad y la densidad del tránsito también influyen en la probabilidad de atropello de animales debido a que no siempre encuentran espacios suficientes para cruzar las vías terrestres. Algunas especies como los reptiles que son de sangre fría requieren regular su temperatura corporal mediante la absorción de calor del medio, por lo cual se acercan a las carreteras para aprovechar el calor absorbido por el pavimento durante el día exponiéndose a ser atropellados por los vehículos en circulación.

3.4 Perturbaciones ambientales por la construcción de vías terrestres

Es claro que la construcción de vías terrestres altera de manera significativa el hábitat en donde comunidades de seres vivos desarrollan todas sus actividades de supervivencia y que esta alteración induce cambios en las especies y en la manera en que utilizan estos espacios. En las zonas adyacentes a las vías terrestres es común encontrar suelos erosionados y a veces contaminados de hidrocarburos y como consecuencia de la erosión estas zonas presentan un incremento en la temperatura con respecto a zonas más alejadas donde abunda un poco más la vegetación, la contaminación por ruido generado por los automotores también está presente en las márgenes de las vías terrestres lo cual puede afectar significativamente la comunicación entre algunas especies principalmente aves y algunos mamíferos. Se han identificado alteraciones que el ruido produce en ciertos tipos de aves afectando no solo en su comportamiento sino también los ciclos de reproducción.

Otro tema de importancia crucial es la contaminación lumínica en las márgenes de las vías terrestres, la cual afecta directamente a especies de hábitos nocturnos como los murciélagos y algunos anfibios. Las luces artificiales con que son iluminadas algunas carreteras, así como las luces propias de los vehículos que circulan por una carretera pueden afectar el ritmo de crecimiento de algunas plantas, así como los comportamientos de alimentación y reproducción de ciertas aves o el comportamiento nocturno de anfibios. Las luces atraen a algunos insectos y a la vez aumenta la presencia de murciélagos produciendo una mayor mortalidad de estos animales por colisión con vehículos en movimiento.

La construcción de terraplenes y cortes cambia la topografía lo cual ocasiona cambios en la trayectoria del drenaje superficial a escala local y favorecen la erosión del suelo, también se presentan cambios en la estructura natural del suelo producidos por la compactación al paso de la maquinaria de construcción. Asimismo, la colocación de concreto asfáltico y el tránsito de vehículos durante la operación de carreteras y vías férreas genera GEI, posibles derrames de hidrocarburos sobre la carpeta de rodadura que después son lavados por el agua de lluvia y conducidos directamente a cauces o al suelo en las márgenes, así como la basura que comúnmente es arrojada a las orillas de las vías terrestres por los usuarios.

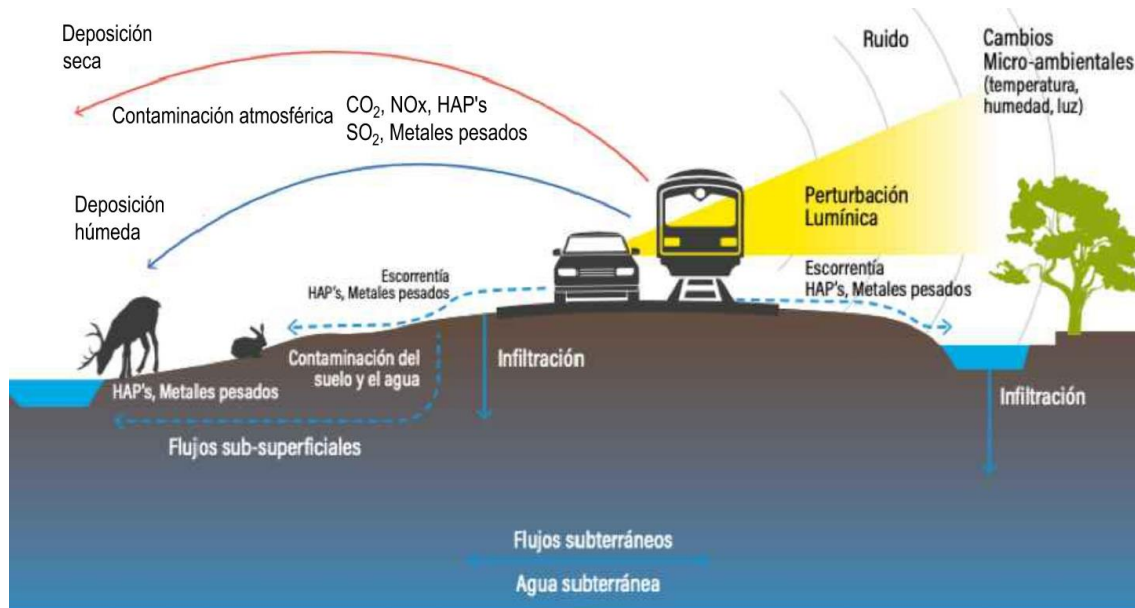


Figura 4 Principales afectaciones al medio ambiente provocadas por la construcción de vías terrestres

Fuente: Modificada a partir del original de Van Bohemen y Van de Laak (Ref. 23)

3.5 Cambio de funciones ecológicas en las márgenes del Proyecto

La función de las márgenes de las vías terrestres depende del contexto geográfico, de la vegetación, tipo de hábitat y de la gestión del espacio definido como derecho de vía. No obstante, la función ecológica de las márgenes de las vías terrestres, que en algunos casos son reforestadas, es motivo de un gran debate ya que, por una parte, contribuyen a la protección de algunas especies que los utilizan como rutas de desplazamiento una vez que estos son adecuadamente reforestados, principalmente en zonas donde la agricultura ha desprovisto de vegetación grandes superficies de suelo, también ha mejorado la función de estos sitios como conectores de hábitats aislados, favoreciendo el desplazamiento de algunas especies y con ello aumentado sus probabilidades de supervivencia ya que crea micro-hábitats que permiten el desarrollo de algunas especies y dan alojamiento a otras.

Pero, por otra parte, existe la posibilidad de que la reforestación de la margen de una vía terrestre conduzca a ciertas especies a sitios donde aumenta el riesgo de mortandad por colisión con vehículos o fomente la propagación de especies invasoras.

Se ha comprobado que la correcta gestión de espacios reforestados pueden contribuir a la recuperación de zonas donde se haya reducido considerablemente la vegetación natural por causa de la actividad antropogénica, como en el caso de zonas de cultivo, en otros casos, sobre todo cuando se trata de proyectos nuevos y debido a una reforestación deficiente que no sustituye por completo el hábitat natural, trae consigo que las comunidades vegetales que viven en las márgenes de las vías terrestres estén compuestas en una gran proporción por especies no autóctonas y ruderales. La gestión de estos espacios creados artificialmente ha variado con el transcurso del tiempo en cuanto se tiene cada vez más conocimiento del comportamiento de las especies que los habitan.

3.6 Efecto de Borde

El Efecto de borde se presenta cuando un ecosistema es fragmentado y “*se cambian las condiciones bióticas y abióticas de los fragmentos y de la matriz circundante*” (Kattan 2002). Para el caso de las vías terrestres, este fenómeno se presenta principalmente en la superficie del derecho de vía, en donde, al aumentar el área expuesta a la radiación solar como consecuencia del desmonte previo se presenta un aumento en la temperatura, una menor humedad y una mayor susceptibilidad al viento lo cual modifica no solo la redistribución y abundancia de especies sino también la oferta de alimento de ellas, estos cambios afectan principalmente a las especies que habitan el interior del ecosistema las cuales son generalmente desplazadas por especies que sobreviven en sitios más expuestos las cuales encuentran en estos sitios mejores condiciones para la supervivencia y reproducción. Evidentemente este hecho genera un desequilibrio en la distribución y cantidad de especies animales.

3.7 Impacto económico de las colisiones entre vehículos y animales

Las colisiones entre los vehículos y la fauna silvestre constituyen un problema creciente no sólo para la conservación de especies, sino también para la seguridad de los automovilistas y la economía tanto privada como pública, “*Los registros de la policía en Europa (excluyendo Rusia) reportan que al año hay más de medio millón de colisiones de vehículos con ungulados, causando un mínimo de 300 muertes humanas, 30,000 heridos y un daño material de más de mil MDD. Para el caso de las carreteras en los Estados Unidos de Norteamérica (Conover et al., 1995¹²), los investigadores estiman que cada año se presentan alrededor de dos millones de colisiones con la fauna, causando 200 muertes humanas y 29,000 heridos. Estos datos resultan congruentes con lo reportado por la organización DeerCrash.org, que estima un promedio nacional anual de 178 personas muertas en colisiones con animales en Estados Unidos de Norteamérica, entre 1994 y 2013 (ver **Figura 5** Número de colisiones entre vehículos y animales, así como fatalidades humanas, en Estados Unidos, entre 1994 y 2013). Estas estadísticas resultan conservadoras si se considera que la mayoría de las colisiones menores no se reportan y que muchas de las muertes registradas se deben al choque de vehículos con árboles, que se ocasiona al evitar el atropellamiento de un animal¹³.*”

¹² Ref. 22

¹³ Ref. 21

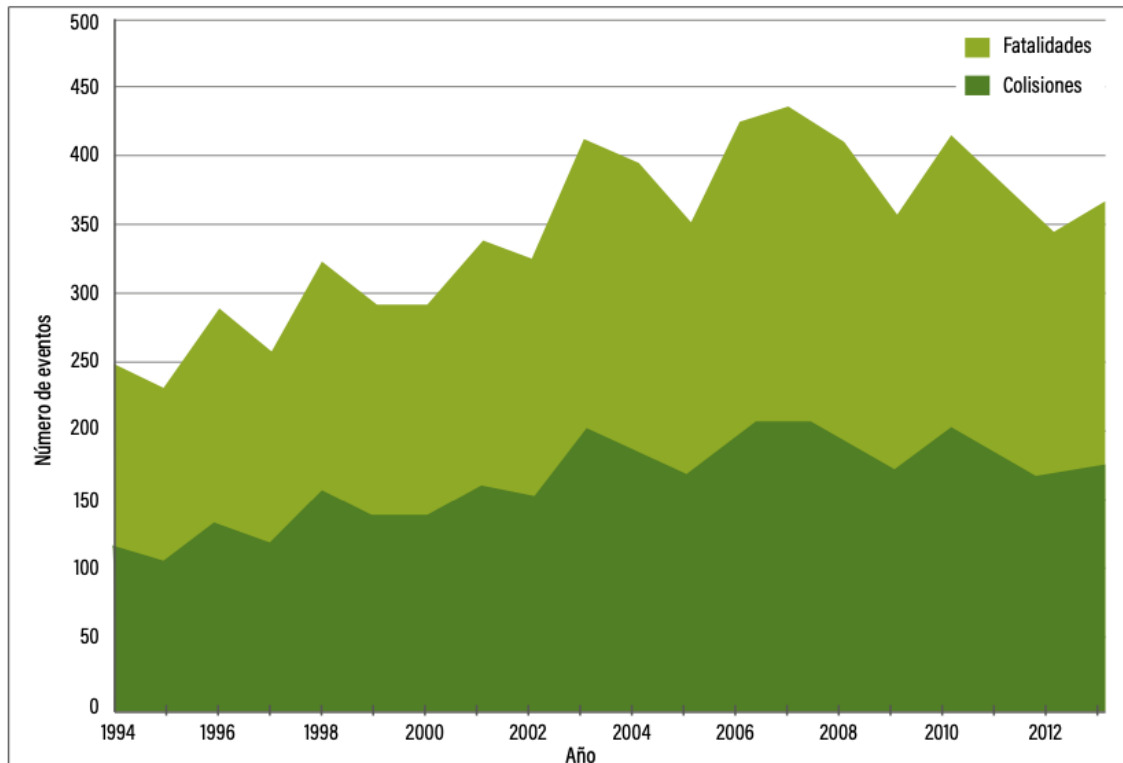


Figura 5 Número de colisiones entre vehículos y animales, así como fatalidades humanas, en Estados Unidos, entre 1994 y 2013

Fuente: <http://www.deercrash.org>

En México, desafortunadamente no se cuenta con datos económicos confiables que permitan evidenciar el impacto económico de las colisiones vehículo-animal, no obstante podemos hacernos una idea de la magnitud de este impacto mediante el análisis de datos obtenidos de la situación en EUA¹⁴ donde la FHWA (*US Federal Highway Administration*) estimó los costos asociados a instalaciones, heridas en humanos, muertes y reparación de vehículos por colisión con mamíferos grandes, particularmente venado (*Odocoileus virginianus*), reno (*Rangifer tarandus*) y alce (*Alces alces*) de acuerdo con la **Tabla 3** Costo promedio por tipo de herida humana por colisiones vehículo- animal (USD) y la **Tabla 4** Costo estimados para colisiones vehículo-animal (USD).

¹⁴ Ref. 9

Tabla 3 Costo promedio por tipo de herida humana por colisiones vehículo- animal (USD)

Tipo de herida humana	venado	reno	alce
Posible	\$627.0	\$1,254.0	\$2,508.0
Evidente	\$887.0	\$1,775.0	\$3,550.0
Incapacidad/severo	\$1,187.0	\$2,374.0	\$4,749.0
total	\$2,701.0	\$5,403.0	\$10,807.0

Fuente: Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras para México WATCHMX V2.0, FHWA, 2008 (Ref. 9)

Tabla 4 Costo estimados para colisiones vehículo-animal (USD)

Descripción	venado	reno	alce
Costo de reparación del vehículo por colisión	\$1,840.0	\$3,000.0	\$4,000.0
Costo de heridas humanas por colisión	\$2,702.0	\$5,403.0	\$10,807.0
Costo de pérdidas humanas por colisión	\$1,671.0	\$6,683.0	\$13,366.0
Atención de accidentes e investigación	\$125.0	\$375.0	\$500.0
Valor monetario del animal por colisión	\$2,000.0	\$3,000.0	\$2,000.0
Remoción y disposición del cuerpo por colisión	\$50.0	\$100.0	\$100.0
Total	\$8,388.0	\$18,561.0	\$30,773.0

Fuente: Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras para México WATCHMX V2.0, FHWA, 2008 (Ref. 9)

Es claro que el monitoreo resulta ser una herramienta indispensable para la recopilación de datos sobre atropellamiento de especies silvestres con la finalidad de mejorar los parámetros de planeación de una carretera o vía férrea, así como para evaluar la efectividad de un paso para fauna construido. Desafortunadamente en México aún no se cuenta con infraestructura, metodologías institucionalizadas y ordenamientos de carácter legal para generar esta información, en este sentido resultaría muy conveniente llevar la discusión al terreno legislativo con propuestas claras que faciliten la implementación de políticas para efectuar las tareas de monitoreo.

3.8 Propuestas y soluciones

Siguiendo los protocolos de análisis y solución a cualquier problema en ingeniería se busca siempre obtener una solución para cada problema que por analogía constituya un “traje hecho a la medida”. Existen numerosos ejemplos donde las experiencias y soluciones aplicadas sirven como base para ser adaptadas y probar su eficacia en otros casos. Mencionaremos algunas de las soluciones propuestas y puestas en marcha que históricamente han probado su función exitosamente, entre otras se cuenta con:

- La instalación de vallas o cercas a lo largo del derecho de vía del proyecto para impedir el paso de especies, estas pueden ser metálicas como el caso de la denominada malla “triple nudo” o bien la modificación de la vegetación y la siembra de cercas naturales para evitar el paso de animales de talla grande.
- La colocación y uso de señalamientos viales para alertar a los automovilistas sobre la probabilidad de colisión con algún animal.
- Instalación de reductores de velocidad como vibradores, vados, topes, etc.
- Colocación de vallados en las zonas laterales a algún cuerpo de agua para obligar a las aves a elevar el ángulo de vuelo por encima de donde puedan ser arrolladas, o bien el uso de ahuyentadores sónicos.
- La construcción de pasos de fauna subterráneos o elevados según las necesidades de las especies a proteger.

Aunque no se cuenta con el registro oficial del nivel de efectividad de las soluciones mencionadas anteriormente, cabe recordar que la mejor solución siempre estará formada por la combinación adecuada de varias de las anteriormente señaladas en virtud de las condiciones que cada situación.

En el caso de los pasos para fauna silvestre es necesario destacar la importancia de incorporar su implementación a partir de la etapa de planeación del proyecto pues para ello se requiere evaluar en principio las condiciones naturales de la región, así como el tipo de especies que la habitan buscando siempre minimizar los efectos que la construcción del proyecto pueda generar en el hábitat. Este análisis debe considerar la opinión de expertos en materia de conservación de especies y su entorno y para ello actualmente se cuenta con una guía técnica proporcionada por la DGST de la SICT materializada en el Manual de Pasos Para Fauna Silvestre en carreteras¹⁵ que, como se verá más adelante, provee a los ingenieros de caminos de herramientas para la toma de decisiones y la planeación efectiva de acuerdo con las condiciones fisiológicas y de biodiversidad de nuestro país.

¹⁵ Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre en carreteras (Ref. 1)

CAPÍTULO 4 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y LOS PASOS PARA FAUNA SILVESTRE COMO MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (ESTADO DEL ARTE)

En 1969 la *National Environmental Policy Act* (NEPA) presenta la primera ley relativa al medio ambiente aprobada por el Congreso de EUA y promulgada el primero de enero de 1970. Este documento nace como respuesta a numerosos problemas causados al medio ambiente por proyectos, particularmente los problemas de contaminación del aire. La imagen negativa de las empresas contaminantes, el boicot a sus productos y los posibles cierres de las instalaciones obligaron al gobierno y empresas privadas a invertir recursos para prevenir y contrarrestar los efectos ambientales.

La sección 102 de la ley exige a todas las agencias del gobierno federal de Estados Unidos “Utilizar un enfoque sistémico e interdisciplinario que va a asegurar el uso integrado de las ciencias naturales y sociales [...] en la toma de decisiones que puedan tener un impacto sobre el ambiente humano”¹⁶. Así, en 1973 el Consejo de Calidad Ambiental instituido por la NEPA, publicó las directrices para la elaboración y presentación de los Environmental Impact Statements (Estudios de Impacto Ambiental, EIA), lo que estableció las bases de los futuros estudios que se realizaron en EUA y otros países, elaborando sus propias leyes y reglamentos sobre la evaluación ambiental (Sánchez L. E., 2006).

En un principio, en Latinoamérica y en general en los países subdesarrollados, la implementación del EIA se realizó bajo la presión de organismos económicos y de instituciones de fomento al desarrollo tales como: el AID, U.S. Agency for International Development, el Banco Interamericano de Desarrollo BID o la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OCDE, así como el Banco Mundial. Los primeros EIA realizados en países de Latinoamérica se efectuaron como una respuesta a las exigencias de los organismos económicos mencionados para satisfacer ciertos requisitos y poder acceder a créditos de las instituciones financieras internacionales más que por una cultura ambiental. Colombia fue el primer país de Latinoamérica en incorporar en su Código de Recursos Naturales el EIA en el año de 1973, le siguió México en 1978. Éste último ya contaba con una ley para prevenir la contaminación, pero no incluía el concepto de evaluación ambiental. No obstante, al transcurrir del tiempo, en países como México se oficializó el protocolo mediante la promulgación de la LGEEPA en 1988 como se verá más adelante.

4.1 La Conferencia de Estocolmo

En 1989, el Banco Mundial creó un Departamento de Medio Ambiente dirigido por un equipo multidisciplinario para analizar desde el punto de vista ambiental los proyectos enviados al Banco.

Asimismo, en Europa, las Naciones Unidas celebraron una conferencia internacional sobre el medio ambiente el 16 de junio de 1972 en Estocolmo, Suecia, ésta conferencia se conoce como la *Conferencia de Estocolmo*. Fue el mayor evento sobre el medio ambiente de la década en el cual los países más desarrollados reconocieron a la NEPA y en particular al EIA como técnica rigurosa de prevención de impactos sobre el medio ambiente. Además de Estados Unidos, algunos países empezaron a introducir la evaluación de impacto ambiental en sus ordenamientos jurídicos, tales como Canadá y Colombia en 1973,

¹⁶ Análisis de la estructura del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental para proyectos carreteros (Ref. 11)

Australia y Nueva Zelanda en 1974, Alemania y Francia en 1976, Inglaterra y Holanda en 1979.

En la **Tabla 5** Principios de la Declaración de Estocolmo se indican los principios asumidos en la Declaración de Estocolmo que posteriormente fueron incorporados a las legislaciones ambientales de varios países.

Tabla 5 Principios de la Declaración de Estocolmo

Aspectos de los cuales deben ocuparse las legislaciones nacionales	Principios indicados en la Declaración de Estocolmo
Derecho a un medio ambiente adecuado y a la no discriminación	1
Responsabilidad intergeneracional	2
Desarrollo sustentable	3,4,5,8 y13
Prevención del daño ambiental	6,7
Deber de cooperar	9,10,11 y 12
Planificación del desarrollo	14,15 y 16
Planificación del crecimiento demográfico	15,16 y 24
Deber de poner la ciencia al servicio de la sociedad	18
Deber de usar la educación y la investigación como instrumentos de política ambiental	19 y 20
Derecho a la información	19 (segunda parte)
Derecho soberano de los Estados a explotar sus recursos	21 y 23
Reparación del daño	22
Deber de evitar la proliferación de las armas nucleares	26
Deber de conservar el ambiente	25

Fuente: Alfaro Barbosa J. M, Limón Rodríguez B. et al. (2005)

Sin embargo, es hasta 1987 cuando a través del documento denominado “Nuestro futuro común” elaborado por la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, denominada Comisión Brundtland, que la problemática ambiental mundial es abordada a nivel global. En el documento se propone que la humanidad debe orientar su evolución a un nuevo tipo de desarrollo llamado “Desarrollo Sustentable” mediante el cual debe ser posible satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer las propias.

Así, el desarrollo sustentable es un concepto que incluye tres aspectos importantes, el económico, el social y el ambiental, el equilibrio de estos resulta en la sustentabilidad.

El Informe de Brundtland establece los principios para la protección del medio ambiente y para el desarrollo sustentable. Una de las proposiciones más destacada es la que establece que los países deben hacer evaluaciones ambientales tempranas de actividades que eventualmente puedan significar daños al medio ambiente. De esta manera, en la década de los ochenta algunos países comenzaron a implementar marcos jurídicos modernos sobre la evaluación de impacto ambiental y fundaron instituciones para regular su operación, por ejemplo, Brasil en 1981 y México en 1982.

4.2 Cumbre de Río

Del 3 al 14 de junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil, se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo también conocida como la “Cumbre para la Tierra” (UNCED, por sus siglas en inglés), en dicho evento se dio un gran impulso a la difusión de la EIA y de ella se derivó la Declaración de Río la cual establece en su principio 17 que *“la evolución de impacto ambiental como un instrumento nacional debe ser llevada a cabo para actividades propuestas que tengan probabilidad de causar un impacto adverso significativo en el ambiente, y sujetas a una decisión de la autoridad nacional competente”*

En la también denominada la Cumbre de Río aprobaron cuatro documentos:

Agenda 21 que es un plan de acción en que establece a la evaluación de impacto ambiental como un instrumento necesario que debe aplicarse al desarrollo de las actividades permitiendo prever y prevenir impactos adversos sobre el medio ambiente.

La Declaración de Río, que contiene 27 principios, referidos principalmente al compromiso de los países firmantes para considerar ciertos instrumentos de política ambiental en sus legislaciones.

Convenio Marco de las Naciones Unidas, que se refiere al cambio climático; el cual establece el compromiso de los Estados tendientes a lograr la estabilización de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera.

Convenio sobre Diversidad Biológica que se refiere a la conservación de la diversidad biológica y el uso sustentable de sus componentes.

La conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano en Estocolmo en 1972 y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, son referentes esenciales que contribuyeron a elevar la conciencia ambiental y el antecedente histórico de la gestión ambiental. La **Tabla 6** Evolución de la evaluación del impacto ambiental muestra la evolución de la EIA entre las décadas de 1970 y 1990.

Tabla 6 Evolución de la evaluación del impacto ambiental

Periodo	Hecho trascendente
Antes de 1970	Los proyectos se analizaban sólo desde el punto de vista técnico y económico Existía una consideración restringida de las consecuencias ambientales
Principios y mediados de 1970	Da inicio el concepto de evaluación ambiental a través del NEPA. Se establecen procedimientos y se inicia la participación ciudadana. Se diseñan metodologías estándar para el análisis de impactos Varios países implementan EIA.
Finales de los 70's y principios de los 80's	Se formalizan criterios y lineamientos. Se incorporan, en algunos países, las EIA. Se incorpora a las EIA el análisis de riesgos. Se incorpora la información a los ciudadanos sobre los proyectos.
Mediados y fines de los 80's	La Comunidad Europea establece los principios y procedimientos básicos de la EIA a los países miembros. Se incorporan los impactos acumulativos de las EIA y se desarrollan mecanismos de seguimiento y control (monitoreo, auditoría, gestión de impactos). Las Agencias Internacionales y Bancos de Desarrollo establecen requerimientos de EIA para el financiamiento de proyectos.
Década de los 90's	Se establecen Sistemas de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) Se incrementa el uso de tecnologías de información y el SIG. Se comienza a utilizar la EIA en proyectos de desarrollo internacional. Se da un crecimiento en la capacitación en EIA y creación de redes de apoyo.

Fuente: Análisis de la estructura del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental para proyectos carreteros (Ref. 11)

4.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

En México, al igual que en la mayoría de los países en vías de desarrollo, los efectos de la contaminación ambiental se deben a factores como la explosión demográfica, la falta de planeación y un desconocimiento casi absoluto del valor ecológico y socioeconómico de los sistemas ambientales. Lo anterior ha devenido en la incorporación de políticas de planeación que tomen en cuenta la variable ambiental y criterios ecológicos para lograr avanzar en el desarrollo económico de manera sustentable.

Los antecedentes de la política ambiental en México¹⁷ se dan en los años cuarenta con la promulgación de la Ley de Conservación de Suelo y Agua. Décadas más tarde, al inicio de los años setenta, se promulgó la Ley para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental como respuesta a los compromisos asumidos por México en la “Conferencia de Estocolmo”.

En 1972, se dio la primera respuesta directa de organización administrativa del gobierno federal para enfrentar los problemas ambientales del desarrollo desde un enfoque eminentemente sanitario al instituirse la “Subsecretaría para el mejoramiento del ambiente” dentro de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA).

No obstante, a lo largo de cuatro décadas (1940-1980), la estrategia de desarrollo nacional se centró en el impulso a la industrialización a través de la sustitución de importaciones. La industrialización subordinó el desarrollo de las demás actividades económicas, particularmente las del sector primario generando un modelo de explotación intensiva y extensiva de los recursos naturales, así como un desarrollo urbano industrial que no previó los efectos ambientales ni reguló adecuadamente sus resultados en términos de manejo de residuos, de emisión de contaminantes a la atmósfera ni de descargas a los cuerpos de agua.

A partir de 1982, se instituyeron reformas a la Constitución Política que permitieron la creación y establecimiento de organismos con bases jurídicas y administrativas para la protección ambiental. En ese año fue creada la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), para garantizar el cumplimiento de las Leyes y reorientar la política ambiental del país. En este mismo año se promulgó la Ley Federal de Protección al Ambiente.

En 1987, se otorgaron facultades al Congreso de la Unión para legislar en materia de protección al ambiente y en 1988 con base en esa reforma y en las leyes anteriores en la materia fue publicada la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) misma que hasta nuestros días es la base de la política ambiental del país.

En 1992, se transformó la SEDUE en la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y se crearon el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

En diciembre de 1994, se creó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) la cual nace de la necesidad de planear el manejo de recursos naturales y políticas ambientales en nuestro país desde un punto de vista integral, articulando los objetivos económicos, sociales y ambientales. Esta idea nace y crece desde 1992, con el concepto de desarrollo sustentable.

Como consecuencia de una evolución sistemática en el desarrollo de políticas ambientales más adecuadas a partir de cambios en la legislación y de la firma de convenios internacionales signados por México tales como el TLC (actualmente TMEC), en 1994 el gobierno mexicano se obliga a considerar el aspecto ambiental como un factor fundamental en las políticas de desarrollo mediante un decreto publicado el 28 de diciembre de 1994 al crear la Secretaría de Recursos Naturales y Pesca SEMARNAP (actualmente SEMARNAT). La SEMARNAP a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) y con base en la Ley de Planeación y Desarrollo de 1995-2000, formuló el Programa de Medio Ambiente cuyo objetivo fue impulsar el desarrollo sustentable y diseñar nuevas estrategias para modernizar la evaluación de impacto ambiental, cuyos ejes rectores fueron:

¹⁷ Manual de Organización General de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ref.12)

- Promover la actualización del marco jurídico-administrativo ambiental (reformas a la LGEEPA, nuevo Reglamento de la LGEEPA, elaborar Guías sectoriales y emitir normas oficiales en materia ambiental).
- Vincular la Evaluación de Impacto Ambiental con los diferentes instrumentos de la política ambiental y,
- Propiciar que la EIA genere un proceso de gestión que involucre a los diferentes sectores sociales, públicos y privados.

En octubre de 1996 el Congreso de la Unión aprueba el proyecto de modificaciones a la LGEEPA¹⁸ y el 13 de diciembre del mismo año fue publicado en el Diario Oficial de la Federación, con lo cual se fortaleció la aplicación de las evaluaciones de impacto ambiental y se subsanaron algunas deficiencias con respecto al ordenamiento anterior. Asimismo, se elaboraron Guías Sectoriales como instrumentos de apoyo para los promoventes de proyectos, orientando el tipo de estudios a elaborar y en la información que deberían presentar en las manifestaciones de impacto ambiental.

Finalmente, como se mencionó, en marzo de 2021 la Cámara de Diputados aprobó la adición del artículo 22 Bis de la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal donde se contempla formalmente la implantación de pasos para fauna silvestre en las carreteras mexicanas.

Asimismo, en junio del 2021, la DGST de la SICT publicó el “*Manual para el Diseño de Pasos de Fauna Silvestre en Carreteras*”¹⁹.

A nivel mundial el desarrollo histórico de los pasos para fauna silvestre sucedió de acuerdo como se muestra en la **Tabla 7** Fechas importantes en la construcción de los pasos para fauna en el extranjero.

Tabla 7 Fechas importantes en la construcción de los pasos para fauna en el extranjero

fecha	Hecho histórico
1955	Primer paso para cruce de vida silvestre construido en Estados Unidos: paso subterráneo para osos negros, Florida
1974	Primer paso para cruce de vida silvestre construido en Europa, Túnel Badger, Países Bajos
1975	Primer paso elevado para vida silvestre construido en Estados Unidos, carretera interestatal 15
1982	Primer paso para cruce de vida silvestre construido en Canadá: paso subterráneo de vida silvestre de la autopista Trans-Canada, Parque Nacional Banff

¹⁸ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente - LGEEPA

¹⁹ Manual para el Diseño de Pasos de Fauna Silvestre en Carreteras, DGST-SICT,2021 (Ref. 1)

Tabla 7 Fechas importantes en la construcción de los pasos para fauna en el extranjero

fecha	Hecho histórico
1982	Primer paso elevado para la vida silvestre construido en Europa: Le Hardt, Francia
1990	Primer paso elevado para la vida silvestre construido en Canadá: Coquihalla Highway, Columbia Británica

Fuente: Modificada de: Wildlife Crossing Structure Handbook Design and Evaluation in North America (Ref. 16)

4.4 Pasos para fauna silvestre en México, implicaciones técnicas en la ingeniería civil

Como medidas preventivas y de mitigación a los impactos adversos por la construcción de vías terrestres, en México la evolución de los aspectos más relevantes a cubrir ha variado en cuanto mayor conocimiento se tiene de los sistemas ambientales y en general de los aspectos biológicos y de comportamiento de las especies silvestres. Muchas de las afectaciones que los proyectos de vías terrestres tuvieron sobre los diferentes paisajes naturales en el pasado no eran tomadas en cuenta en virtud de la resiliencia que estos mostraban a lo largo de la historia. La abundancia de especies silvestres de plantas y animales no parecía mostrar alguna variación en cuanto al número de individuos, hacia la década de los setentas aproximadamente.

La experiencia a nivel mundial señala que es necesario contemplar las estrategias que se llevarán a cabo desde el momento de la planificación del proyecto, partiendo de considerar no sólo las zonas aledañas al trazado, sino que debe tenerse en cuenta un contexto del manejo integral del paisaje y la conectividad ambiental.

Al construir nuevas vías terrestres, **durante la planeación, la selección del mejor trazo puede reducir al mínimo los conflictos y costos derivados de la necesidad de aplicar posteriores medidas correctoras o compensatorias.** La construcción de pasos para fauna es una de estas medidas de mitigación que ha probado ser altamente efectiva y eficiente en muchos países para reducir las colisiones vehículo-animal y el atropello de especies. Sin embargo, nunca será tan efectiva como evitar fragmentar corredores biológicos o zonas con vegetación natural durante la fase de planeación; de ahí **es importante señalar que el mejor paso para fauna es el que no requiere ser construido**, en términos económicos, de seguridad vial, técnicos, sociales y ambientales²⁰.

4.5 Planificación y Ubicación estratégica

Durante la etapa de planeación del proyecto y a partir de un enfoque social-ecológico se toma en cuenta la necesidad de la implementación de pasos de fauna para lo cual resulta indispensable determinar la ubicación y cantidad de estos elementos en el proyecto. En este sentido, es muy importante que el ingeniero proyectista de caminos comprenda que se deben proyectar pasos para fauna en los sitios en los que, a partir de un análisis de factores

²⁰ Manual para el diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref.1)

como ubicación de hábitats de interés, presencia de un relieve que ayude a canalizar a la fauna, la presencia de escurrimientos superficiales o la información de rutas de desplazamiento de la fauna silvestre de interés se determine que sean necesarios. Por otra parte, la densidad o cantidad de ellos dependerá absolutamente de criterios biológicos de acuerdo con lo que determinen los especialistas en la materia (Biólogos), de allí la importancia del trabajo multidisciplinario que eventualmente debe realizar el ingeniero civil encargado de la elaboración del proyecto como líder de equipo y tomador de decisiones en cuanto a la cantidad que económicamente es viable de acuerdo con el análisis financiero del proyecto.

Para determinar el número de pasos para fauna para construir, algunos estudios como el de San Vicente y Valencia (2009) han usado el siguiente criterio (**Tabla 8** Densidades mínimas de pasos de fauna para distintos grupos de referencia), no obstante, aún falta mucha investigación en este campo y es posible que, para especies de menor tamaño y ámbitos hogareños reducidos, los criterios sean distintos y tal vez se requiera incluir una mayor densidad de pasos²¹.

Tabla 8 Densidades mínimas de pasos de fauna para distintos grupos de referencia

Tipos de hábitats que cruza una vía terrestre	Adecuados para grandes mamíferos	Adecuados para pequeños vertebrados
Hábitats forestales y otros tipos de hábitats de interés para la conservación de la conectividad ecológica	1 cada kilómetro	1 cada 500 metros
Hábitats transformados por actividades humanas (incluido zonas agrícolas)	1 cada 3 kilómetros	1 cada kilómetro

Fuente: Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (Ref: 6)

Desde luego que es importante determinar el tipo de fauna que se quiere proteger pues existen diferentes pasos para fauna como se verá más adelante.

4.6 Tipos de pasos para fauna

La biodiversidad propia de México exige particularidades especiales que deben tomarse en cuenta al momento de diseñar un paso para fauna silvestre. *“Cuando se observa el número de especies en riesgo con respecto al número de especies conocidas en el país, el panorama resulta preocupante para algunos grupos, como los vertebrados. Para los mamíferos, anfibios y reptiles, más de la mitad de las especies conocidas en el país se clasifican en alguna categoría de riesgo (52, 51 y 50% de sus especies, respectivamente). En la **Figura 6** Distribución de las especies, según su grado de riesgo en los principales grupos taxonómicos según la NOM-059-SEMARNAT-2010 se observa la distribución de las*

²¹ (Ref 6)

especies de cada grupo taxonómico de acuerdo con las categorías de riesgo empleadas en la NOM-059- SEMARNAT-2010”²²

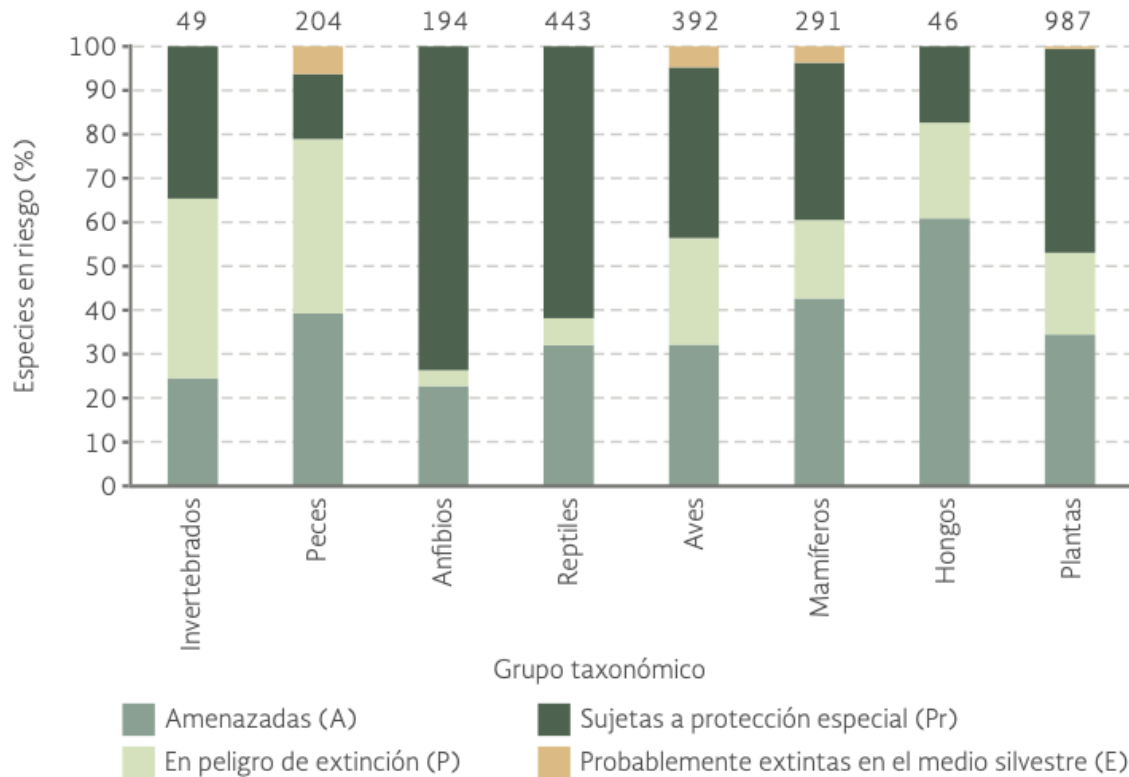


Figura 6 Distribución de las especies, según su grado de riesgo en los principales grupos taxonómicos según la NOM-059-SEMARNAT-2010

Fuente: (Ref. 24) con base en datos de la NOM-059-SEMARNAT-2010. DOF 30 de diciembre DE 2010

De acuerdo con lo anterior, cada paso para fauna tomará en cuenta los criterios de protección, tamaño y volumen de acuerdo con la especie a proteger. De acuerdo con lo establecido en el **Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre (Ref: 1)** *“Es importante mencionar que las particularidades del diseño de los pasos para fauna están sustentadas en los tipos de fauna más frecuente en nuestro país. Si bien cada especie representa un reto particular, no es posible ni recomendable diseñar estructuras de cruce para una sola especie, por lo que las decisiones del tipo, tamaño y ubicación estratégica de los pasos deben considerar que éstos sean funcionales para la mayor cantidad de especies en cada zona”*. Cabe señalar que en este punto es muy importante el trabajo interdisciplinario que involucre la participación entre especialistas en fauna y el equipo de ingenieros de diseño para conseguir la mayor eficiencia posible dentro de una dinámica de intercambio de información y opiniones para lograr el mejor resultado posible.

²² (Ref. 24)

A continuación se enlistan los ocho tipos de pasos para fauna más comunes de acuerdo con la biodiversidad mexicana respetando la nomenclatura²³ que establece la SICT para las estructuras de paso con respecto a la posición de cruce de la carretera sea esta superior o inferior, en la descripción de cada tipo de estructura se mencionarán las implicaciones en cuanto a diseño y construcción desde el enfoque de la ingeniería civil:

- 1) Paso Inferior para Fauna (PIFA).
- 2) Paso Superior para Fauna (PSFA).
- 3) Obra de drenaje adaptada para función mixta (paso de agua y paso para fauna).
- 4) Paso para fauna embebido en la infraestructura lineal.
- 5) Paso aéreo para fauna arborícola.
- 6) Obra para el paso y protección de fauna voladora.
- 7) Paso temporal para invertebrados migratorios.
- 8) Paso para fauna acuática.

4.6.1 Paso Inferior para Fauna (PIFA)

Se trata de estructuras robustas tipo puente también denominados *overpass* porque cruzan por encima de la vía terrestre en cuestión. Mantienen mucha similitud con los Pasos Inferiores Vehiculares (PIV) y los Pasos Inferiores para Personas y Ganado (PIPyG) de acuerdo con la denominación establecida por la SICT. Son recomendados para autopistas y trenes de alta velocidad y en términos económicos resultan ser los más costosos pues debido a la falta de criterios específicos como los establecidos en la norma N-PRY-6-01-001 "Proyecto de Puentes y Estructuras (Ejecución de proyectos de nuevos puentes y estructuras similares)" y la norma N-PRY-6-01-003 "Cargas y acciones" donde se establecen los tipos de cargas permanentes y variables para el diseño de puentes, así como las acciones mecánicas que deben ser tomadas en cuenta durante el diseño y que evidentemente cambian cuando se trata del paso de fauna silvestre entonces deben ser diseñados bajo criterios normales con altas especificaciones en términos de seguridad estructural lo que a fin de cuentas encarece las obras.

Un ejemplo de lo anterior consiste en que por definición estas estructuras deben ser utilizadas únicamente para el cruce de fauna silvestre, prohibiendo en todo momento su uso para el cruce de personas, ganado o maquinaria agrícola, no obstante, debido a la falta información es probable que se ignore dicha prohibición por parte de alguna persona y por ello el factor de seguridad deberá contemplar este uso indebido y en consecuencia reforzar la estructura encareciéndolas. En resumen, cuando se plantea el diseño de estas estructuras se deben atender los mismos criterios usados en la construcción de puentes vehiculares en términos de resistencia, cargas vivas, cargas muertas y cargas accidentales en tanto no se cuente con medidas para el mal uso mencionado.

En términos de la topografía del sitio de desplante es claro que estas estructuras pueden adaptarse tanto a lomeríos como a planicies considerando criterios geométricos como la pendiente máxima de los accesos, ancho mínimo en la sección transversal, etc. que son

²³ La SICT establece como "paso inferior" si la vía terrestre pasa por debajo de la estructura de cruce (entronques, puentes peatonales, etc.), y como "paso superior" en caso de que se cruce por encima (alcantarillas, puentes o viaductos).

mencionados en el *Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre* (Ref: 1). En algunos casos pueden resultar de la construcción de un “falso túnel” ver **Figura 7** a) Paso Inferior para Fauna (PIFA) en Groene Woud, Holanda..



Figura 7 a) Paso Inferior para Fauna (PIFA) en Groene Woud, Holanda.

b) Paso Inferior para Fauna (PIFA), autopista transcanadiense Alberta, Canadá

Fuente: Van der Grift, 2010 (Ref: 1)

4.6.2 Paso Superior para Fauna (PSFA)

Este tipo de pasos son muy similares a las obras de drenaje pluvial y a los Pasos Superiores Vehiculares (PSV) construidos comunmente en vías terrestres, su naturaleza les define como *underpass* pues en este caso cruzan por debajo de la vía en cuestión. Son muy recomendables en zonas con topografía accidentada pues en algunos casos son puentes vehiculares o viaductos de altura considerable que los convierte en las estructuras más convenientes en términos del flujo de especies silvestres. Lo anterior se deriva de que tal como se establece en el *Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre* (Ref: 1) una de las características que favorecen el cruce de la fauna por debajo de una vía terrestre en estas estructuras es el tamaño del gálibo horizontal o vertical pues a mayor gálibo aumenta la confianza en cruzar al otro lado de la infraestructura.

La ventaja de este tipo de pasos estriba en que no requieren consideraciones especiales estructurales o constructivas más allá de las que establezca el proyecto ejecutivo de la vía terrestre por lo cual se tiene mayor certeza en cuanto a los costos. El caso idóneo es el de los puentes y viaductos pues de manera natural ofrecen la permeabilidad óptima para el cruce seguro de cualquier especie.



Figura 8 Puente carretero, ferroviario y losa funcionando como Paso Superior para Fauna (PSFA)

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre (Ref: 1)

4.6.3 Obra de drenaje adaptada para función mixta (paso de agua y paso para fauna)

Derivado del caso anterior, este tipo de paso resulta ser el de más alta eficiencia en términos de costos pues la mayoría de las veces se trata de obras existente que son adaptadas para cumplir una función mixta, por una parte permiten el drenaje de algún escurrimiento superficial y por otra parte pueden ser acondicionados para favorecer el cruce de la fauna silvestre. Los criterios para su construcción o adaptación quedan plasmados en el Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre (*Ref. 1*) de los cuales resaltan los siguientes:

4.6.3.1 Habilitado de banquetas para favorecer el cruce de fauna silvestre

Las alcantarillas de un proyecto de vías terrestres se construyen de acuerdo con la norma N·PRY·CAR·4·01·001/16 “Ejecución del Proyecto de Obras Menores de Drenaje” y no incluyen la existencia de algún tipo de banqueta o plataforma en su interior, por ello al adaptar una obra de este tipo con algún elemento como una banqueta se reduce el área hidráulica y en consecuencia se alteran las condiciones de escurrimiento de la obra de drenaje. La solución propuesta consiste en compensar el cambio en el área hidráulica ya sea aumentando la profundidad y con ella el tirante o bien ensanchar la obra aumentando el gálibo horizontal para cumplir con los criterios hidráulicos de velocidad de flujo y régimen de escurrimiento que establece la N·PRY·CAR·4·01·002 “Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje” lo anterior implica una modificación estructural de la obra de drenaje como puede apreciarse en la *Figura 9* Alcantarilla de losa modificada para función mixta. Es claro que cuando se trata de proyectos nuevos es más sencillo tomar en cuenta los cambios para que una obra de drenaje tenga una función combinada, sin embargo, cuando se trata de obras existentes entonces puede aplicarse la metodología descrita.

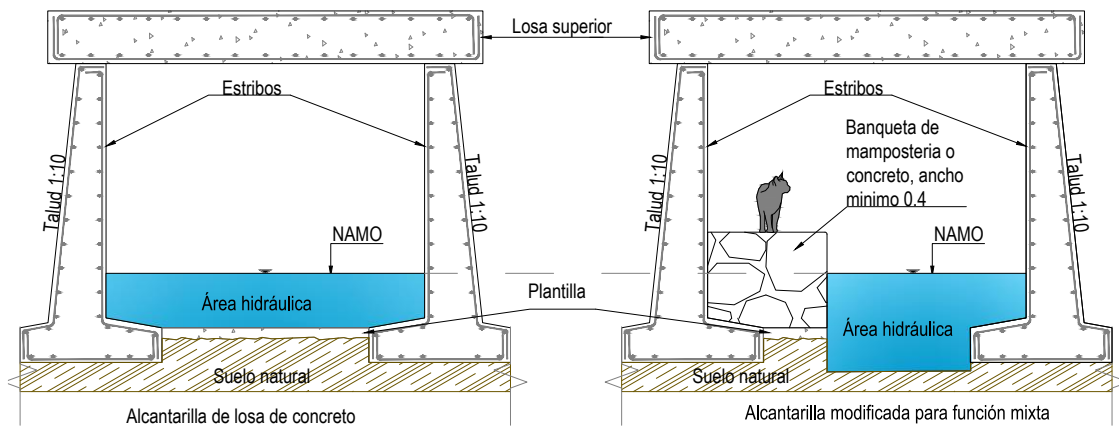


Figura 9 Alcantarilla de losa modificada para función mixta

Fuente: Elaboración propia con base en información del Manual de Diseño para Pasos de Fauna Silvestre (Ref.: 1)

4.6.3.2 Propuesta de plano tipo para obra con función mixta

En este sentido este documento plantea una propuesta tomando como base la plantilla de un plano de planta y elevación de una obra de drenaje tipo a base de losa de concreto extraído de la norma M·PRY·CAR·4.01.002/16²⁴ (ver **Figura 10** Planta y elevación de una alcantarilla de losa de concreto), podemos agregar la banqueta con el cambio en el área hidráulica que implique, con la intención de proporcionar al ingeniero diseñador una nueva plantilla tipo de una obra de drenaje mixta como se muestra en la **Figura 11** Planta y elevación de una alcantarilla de losa de concreto modificada para función mixta.

²⁴ Normas CTR Ref. 4

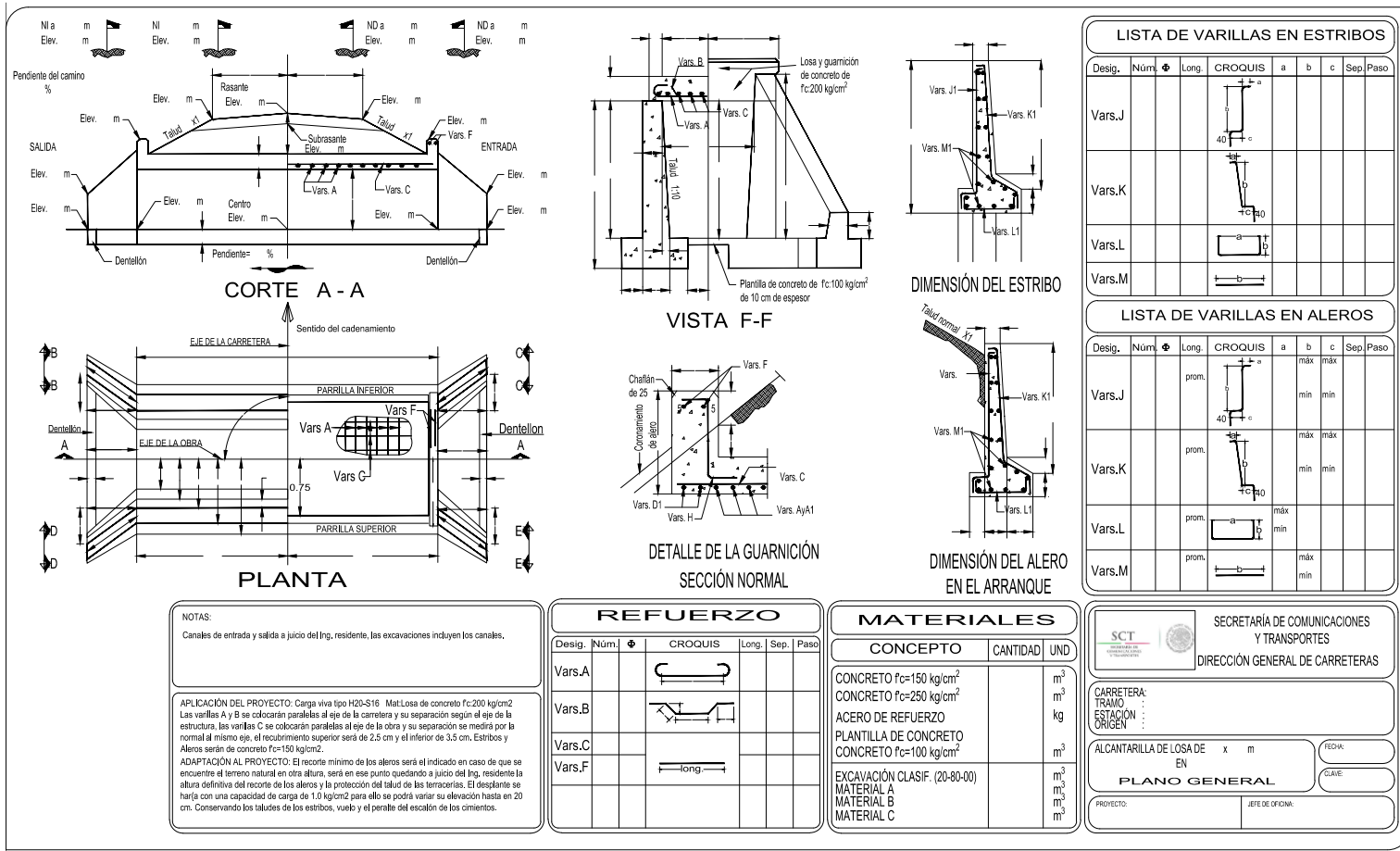


Figura 10 Planta y elevación de una alcantarilla de losa de concreto

Fuente: Norma M-PRY-CAR-4-01-002-16, Proyecto de Obras Menores de Drenaje, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*

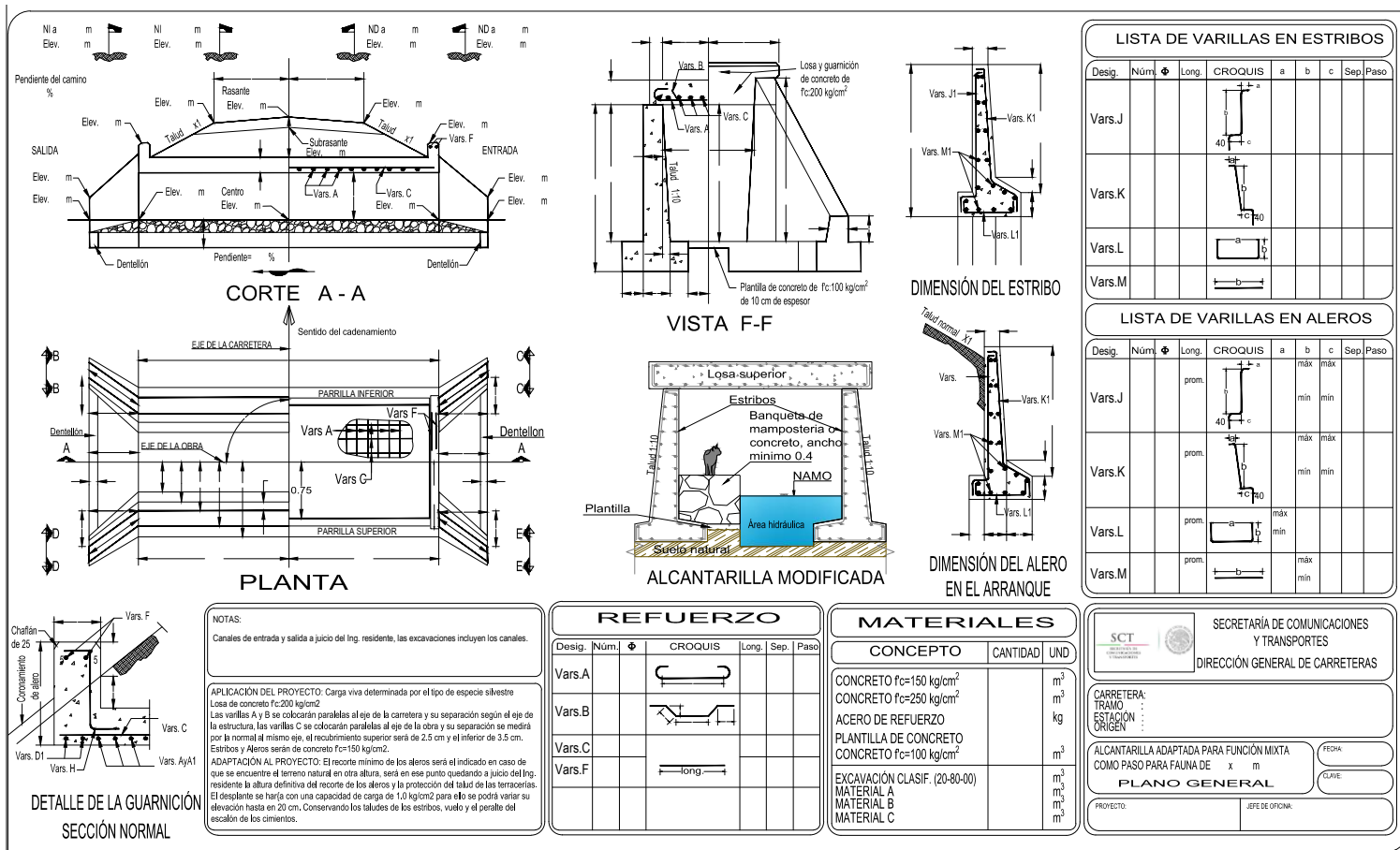


Figura 11 Planta y elevación de una alcantarilla de losa de concreto modificada para función mixta

Fuente: Elaboración propia modificada de la original contenida en la Norma M-PRY-CAR-4-01-002-16, Proyecto de Obras Menores de Drenaje, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*

4.6.3.3 Repisas para uso de animales de talla menor

Cuando se presenta la época de avenidas el nivel del agua podría inhabilitar a la obra de drenaje adaptada para función mixta al aumentar el nivel del espejo de agua, no obstante es posible aprovechar aún su capacidad como paso para fauna con la instalación de repisas de madera o concreto que faciliten el paso a especies de talla menor como se muestra en la **Figura 12** Alcantarilla existente

b) Alcantarilla modificada con banqueteta y repisas.

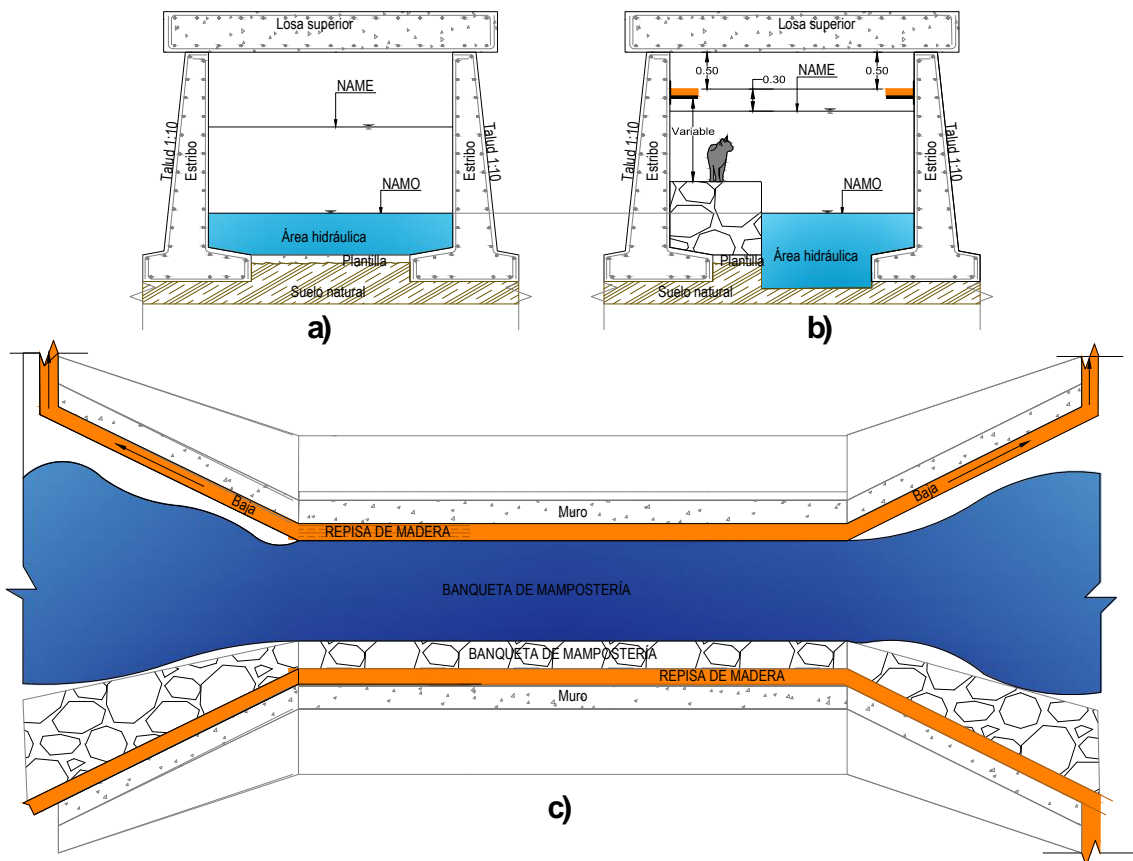


Figura 12 Alcantarilla existente

b) Alcantarilla modificada con banqueteta y repisas

c) Vista en planta de alcantarilla modificada

Fuente: Elaboración propia

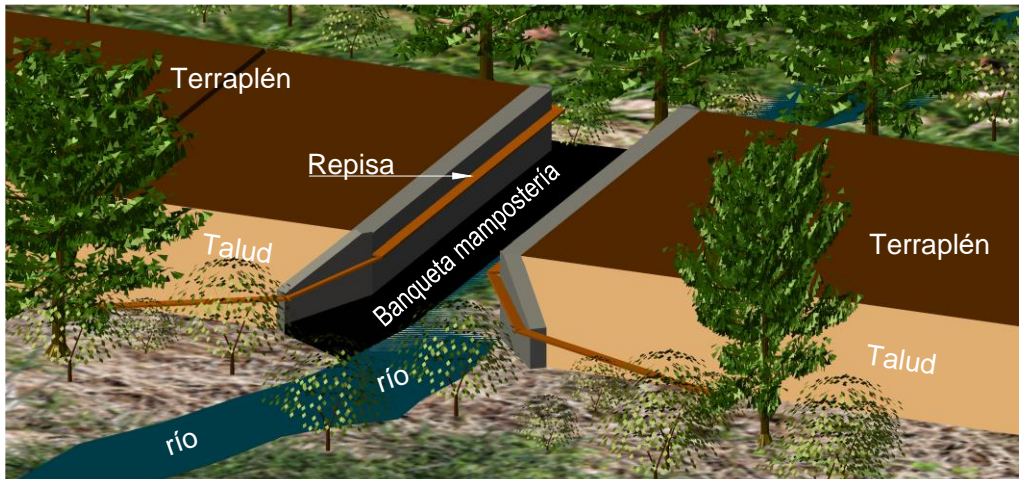


Figura 13 Alcantarilla modificada con banquetas y repisas

Fuente: Elaboración propia

4.6.4 Paso para fauna embebido en la infraestructura lineal

Este tipo de paso es utilizado para favorecer el cruce de animales propios de zonas pantanosas y húmedas como salamandras, ranas, sapos o serpientes entre otros. Consiste básicamente en un paso superior de fauna pequeño (*overpass*). La diferencia principal con respecto a los anteriores es la poca profundidad debido a que debe contar con orificios en la parte superior para permitir una ventilación adecuada por lo cual el techo de estas estructuras coincide con el nivel de la carpeta de rodamiento o de las vías férreas según sea el caso (ver [Figura 14](#) Ejemplos de pasos para fauna embebidos en la infraestructura para el cruce de anfibios y reptiles) La función de cruce seguro es apoyada por características especiales como contar con una pendiente suave en su interior así como los orificios mencionados en la parte superior para favorecer la ventilación y entrada de humedad.



Figura 14 Ejemplos de pasos para fauna embebidos en la infraestructura para el cruce de anfibios y reptiles

Fuente: Acceso abierto de internet

Para su construcción se requiere de una excavación poco profunda, el proceso de construcción es rápido debido a que este tipo de paso puede ser instalado a base de elementos prefabricados como se muestra en la **Figura 15** Ejemplo de instalación de paso de fauna a base de elementos prefabricados y embebido en una carretera.



Figura 15 Ejemplo de instalación de paso de fauna a base de elementos prefabricados y embebido en una carretera

Fuente: Acceso abierto de internet

En virtud de las características necesarias para el funcionamiento de este tipo de pasos se requiere que no se presente el flujo de agua a través de ellos y únicamente se drene la que ingrese por los respiraderos por ello es conveniente generar una pendiente de bombeo en

el interior y en los accesos colocar un zampeado como se puede apreciar en la **Figura 16** Propuesta de paso tipo embebido en la infraestructura. Otra consideración importante es que deben quedar por encima del NAMO del cuerpo de agua más cercano para evitar que sean azolvados por el arrastre de partículas o sólidos suspendidos lo cual en el peor de los casos podría obstruir el paso de la fauna o atraparla en su interior.

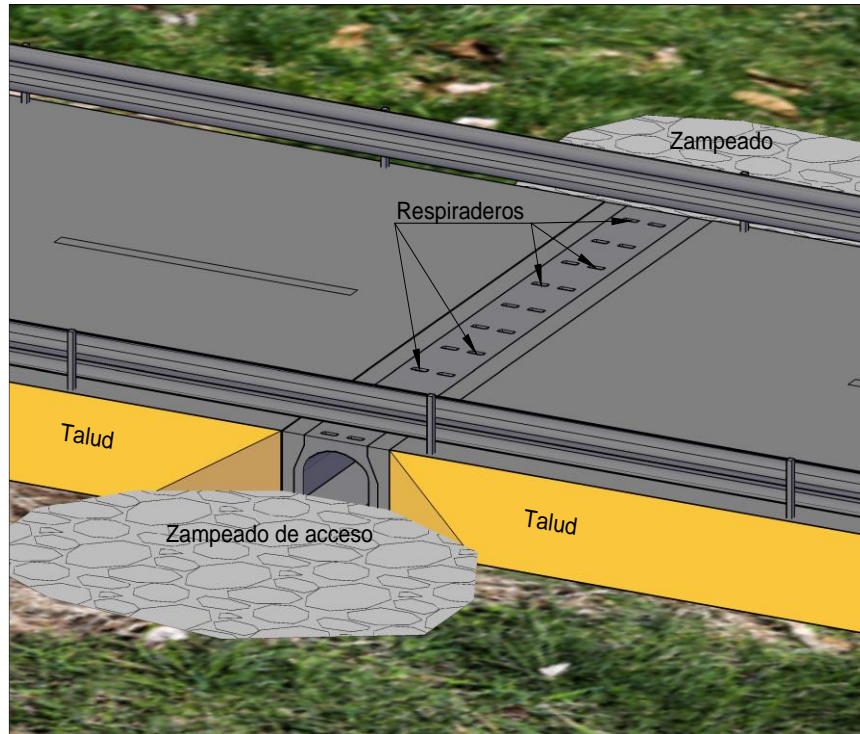


Figura 16 Propuesta de paso tipo embebido en la infraestructura

Fuente: Elaboración propia con base en información del Manual de diseño para pasos de Fauna Silvestre (Ref.1)

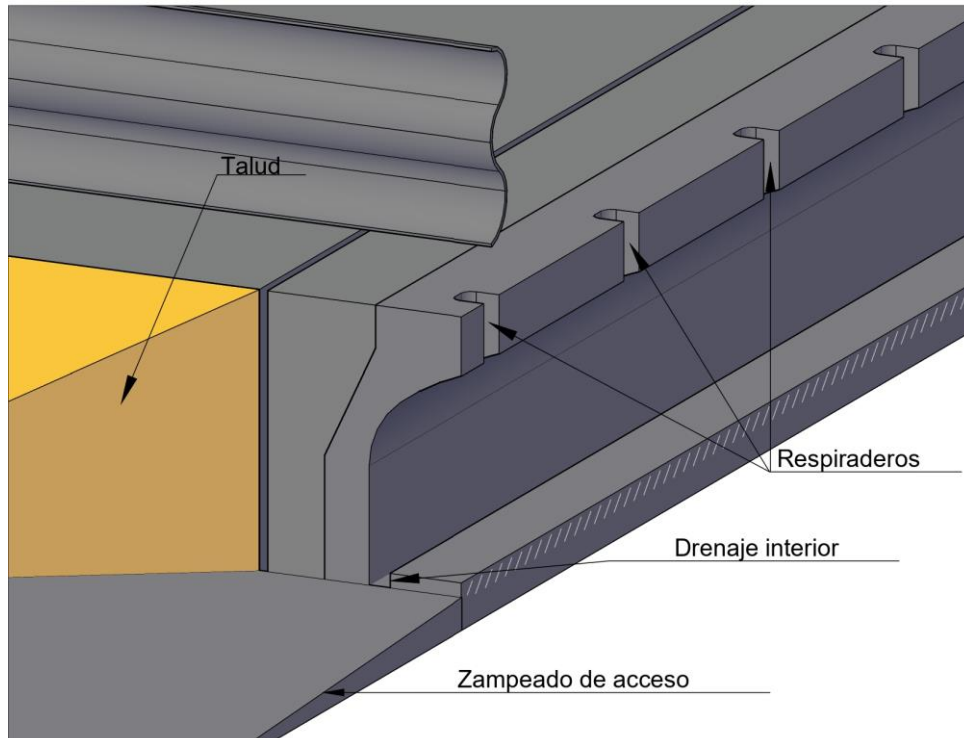


Figura 17 Detalle de paso tipo embebido en la infraestructura

Fuente: Elaboración propia con base en información del Manual de diseño para pasos de Fauna Silvestre (Ref.1)

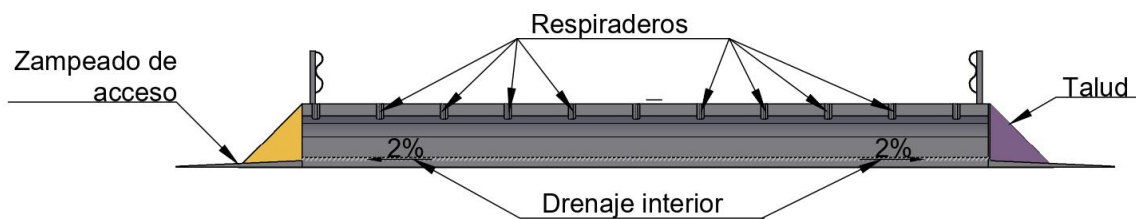


Figura 18 Corte longitudinal paso tipo embebido en la infraestructura

Fuente: Elaboración propia con base en información del Manual de diseño para pasos de Fauna Silvestre (Ref.1)

Es claro que cuando se trate de elementos prefabricados el diseño estructural de estos deberá cumplir con la norma N-PRY-CAR-6-01-003²⁵ "Proyectos de nuevos puentes y

²⁵ Norma CTR-CAR y MPRY-CAR, SICT (Ref. 4)

estructuras similares, cargas y acciones” y la demás normatividad estructural al tratarse de elementos que que trabajarán bajo las cargas de impacto como cualquier vía terrestre.

4.6.5 Paso aéreo para fauna arborícola

Éste tipo de paso resulta ser de uso muy común en México en virtud de la abundancia de especies que utilizan las copas de los árboles para moverse como monos, ardillas, comadrejas, tlacuaches, cacomixtles, así como de la gran cantidad de vías terrestres que cruzan por las selvas mexicanas como es caso del Tren Maya en la Península de Yucatán.

La estructura consta de un cable o elemento en tensión que pueda mantenerse suspendido por encima de la carretera o vía férrea a una altura adecuada para sostener una pasarela que puede ser fabricada a base de tablones de madera, fabricada con malla recubierta de plástico o un entramado de cuerdas por donde puedan circular de manera segura los animales. El soporte lo proporciona un juego de postes con una cimentación apropiada según el suelo de desplante y se ubicarán dentro del derecho de vía. En la **Figura 19** Paso para fauna arborícola a base de pasarelas con se puede apreciar un paso para fauna arborícola a base de pasarela malla recubierta de plástico.



Figura 19 Paso para fauna arborícola a base de pasarelas con malla recubierta de plástico

Fuente: Acceso abierto de internet (ref. 29)

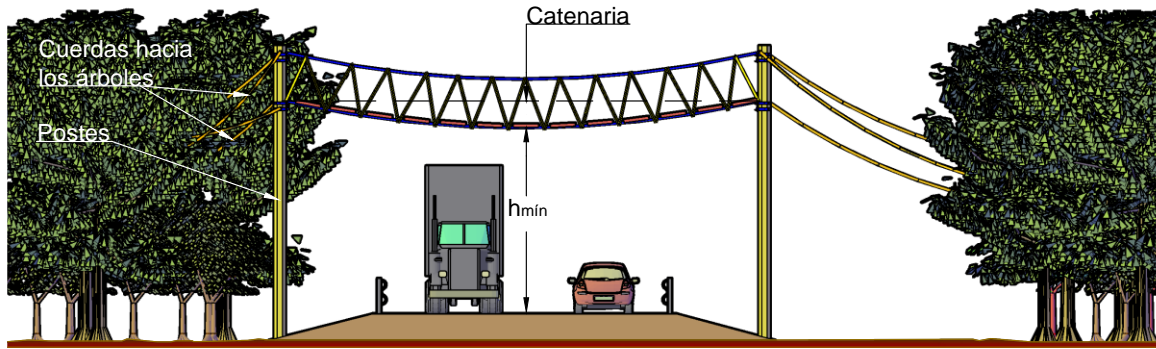


Figura 20 Paso para fauna arborícola con cuerdas y tabloncillos (sección transversal)

Fuente: Elaboración propia

En otra versión de este tipo de paso se puede construir un marco a base de estructura de acero (monten o PTR) con la pasarela de madera, en este punto cabe resaltar el tema de la resistencia de los materiales, tanto estructural como su capacidad para soportar los efectos del intemperismo, pues es común construir estas estructuras en climas con altas temperaturas y por lo tanto al calentarse los materiales por exposición a la radiación solar pueden desalentar el uso durante el día y por otra parte, construirlos con materiales orgánicos como cuerdas de fibra natural reduce su vida útil por causa del intemperismo obligando a sustituirlos periódicamente lo cual aumenta los costos por mantenimiento, esto presenta una oportunidad para el desarrollo de nuevos materiales los cuales incluso podrían derivarse del reciclado

Este tipo de estructuras deberán cumplir con todos los criterios de seguridad estructural que exige la norma como revisión por sismo y viento. De acuerdo con el Manual de diseño de pasos para fauna silvestre (**Ref. 1**) las cargas vivas serán estimadas de acuerdo con lo que señale el especialista en fauna que asesore al ingeniero estructuralista, por ejemplo “*algunas especies como es el caso del mono aullador (*Alouatta palliata*) mide entre 0.7 m y 1.4 m y pesa entre 3.6 y 7.6 kg, además de que se desplazan en grupos de entre 3 a 10 individuos*” con este dato se podrá estimar una carga viva para el cálculo de la catenaria en el caso de que el paso vaya a ser construido por medio de cables en tensión.

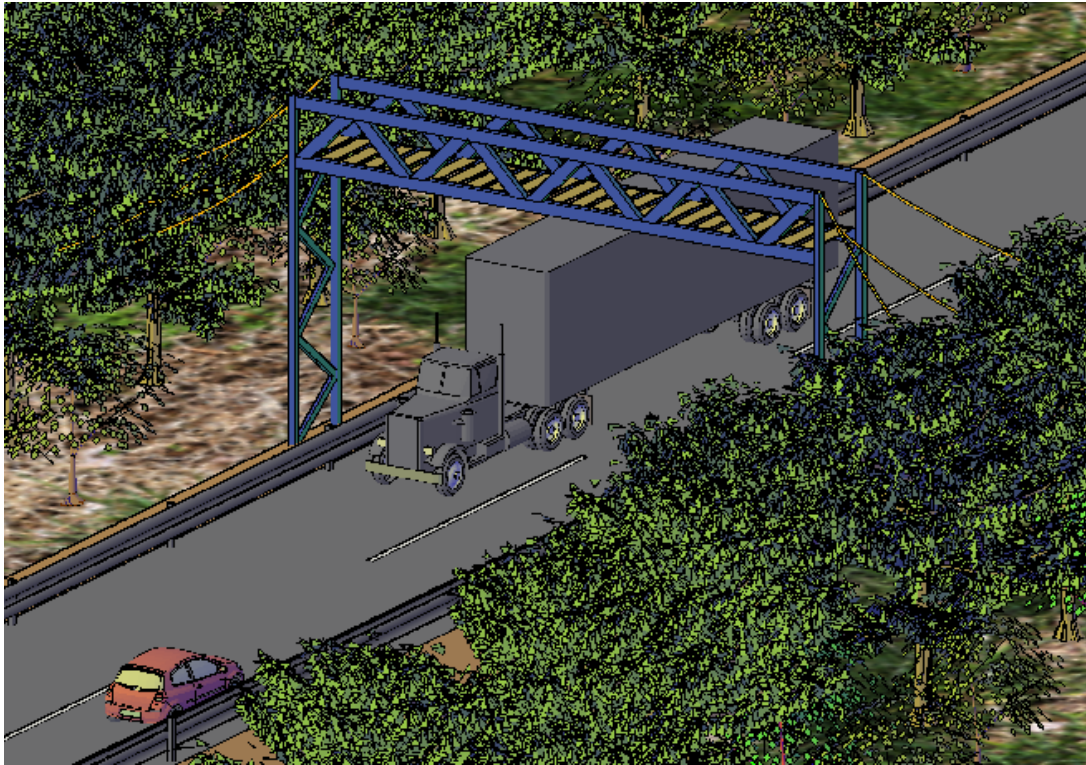


Figura 21 Paso para fauna arborícola a base de estructura metálica con tablonés de madera

Fuente: Elaboración propia

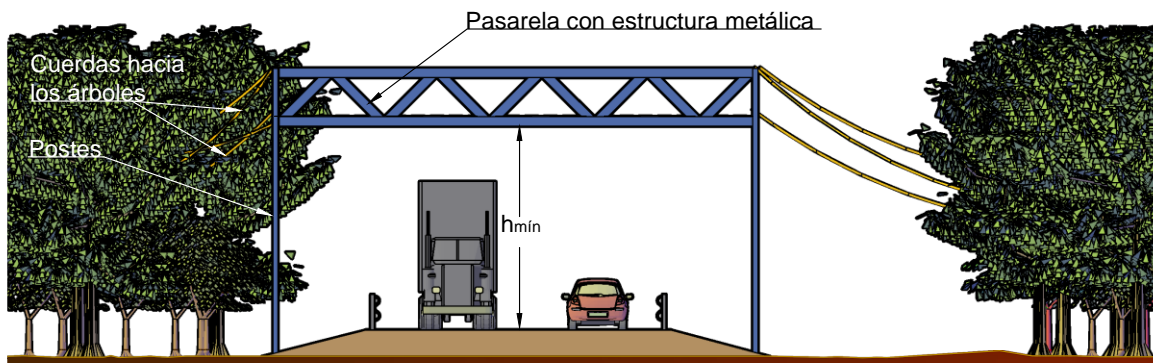


Figura 22 Paso para fauna arborícola a base de estructura metálica (sección transversal)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, cabe recordar que cualquier estructura metálica por construir en una vía terrestre observará lo establecido en la N-CTR-CAR-1-02-005/01 “Acero estructural y elementos metálicos” (Ref. 4).

4.6.6 Obra para el paso y protección de fauna voladora

Existen casos en los que la construcción de vías terrestres se realiza en zonas donde se presenta el cruce de aves volando a baja altura como en el caso de los pantanos o cuerpos de agua donde habitan garzas (*ardeidae*), aves rapaces y en algunas zonas murciélagos (*chiroptera*). El atropello de estos animales se presenta cuando realizan un vuelo raso al intentar cazar a otras especies que se encuentran en la superficie del agua y entonces son interceptados por vehículos en movimiento, en estos casos y de acuerdo con la identificación de las zonas de conflicto por parte del especialista en fauna conviene colocar barreras físicas que obliguen a las aves a levantar el vuelo por encima de la vía evitando los choques. Dichas barreras se pueden colocar a los lados de la carretera o vía férrea o conformando una especie de túnel que evite el ingreso de las aves reduciendo la probabilidad de choque con los vehículos en movimiento. Las barreras descritas pueden ser construidas a base de estructura y malla metálica y su función puede ser apoyada con el uso de generadores de frecuencias que funcionen como disuasor contra las especies voladoras comúnmente llamados “ahuyentadores sónicos”.

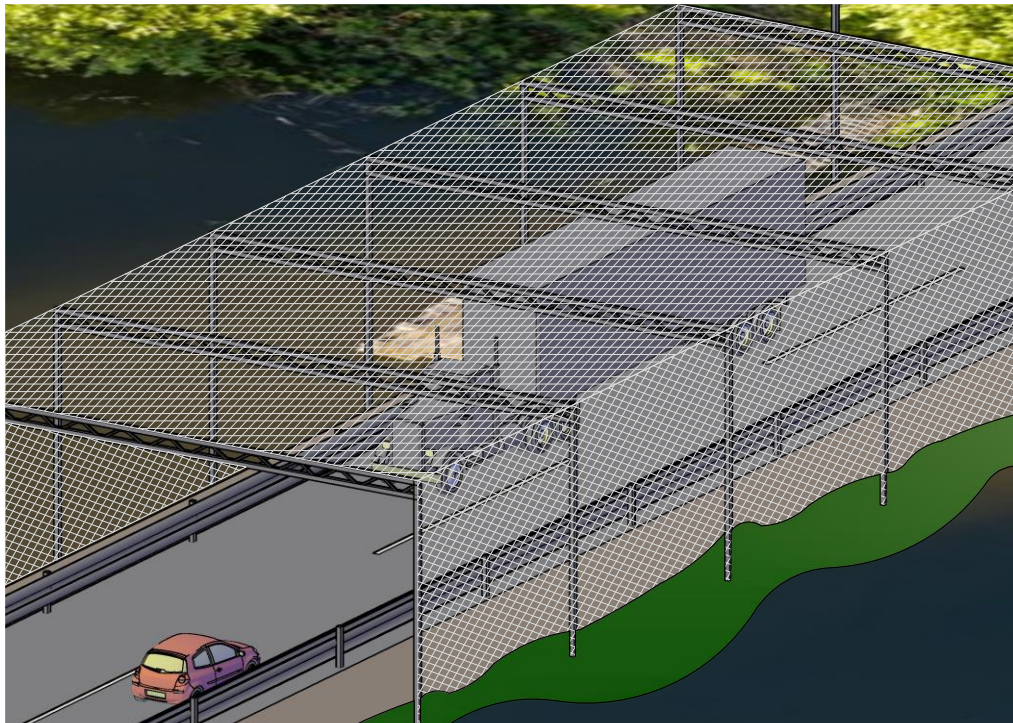


Figura 23 Obra de protección para aves

Fuente: Elaboración propia

Como es natural, la construcción de estas estructuras debe observar las condiciones de cimentación de los apoyos de acuerdo con el tipo de suelo de desplante. La fabricación debe ser a base de estructura de acero con malla galvanizada para prolongar su vida útil.



Figura 24 Colocación de malla que limita el vuelo de aves y murciélagos a ras de la corona de la infraestructura lineal

Fuente: Acceso abierto de internet (Ref. 1)

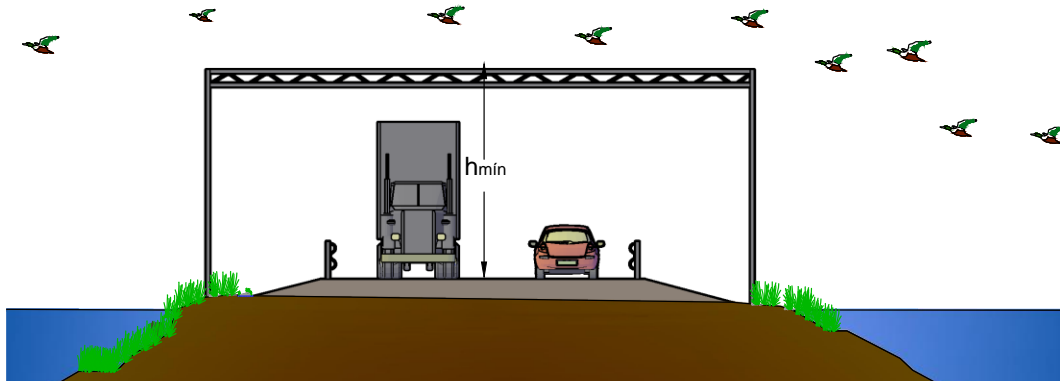


Figura 25 Funcionamiento esquemático de la obra de protección para aves

Fuente: Elaboración propia

El problema del atropello de aves se complica aún más cuando se trata de trenes de alta velocidad, existen indicios que demuestran que “*las aves reaccionan generalmente a una distancia del tren de 60 a 136 metros, por lo que su alta velocidad les deja poco tiempo para escapar. Como consecuencia, una pequeña fracción de las aves que pueden avistarse desde el frontal de un tren acaban muriendo atropelladas. Un AVE en marcha se cruza con aves en las proximidades de su frontal cada 14 km de recorrido, y atropella un ave cada*

350 km circulados²⁶. En este sentido, resultaría muy conveniente la investigación de este fenómeno con fines del planteamiento de posibles soluciones pues el desarrollo de los trenes de alta velocidad va en aumento.

4.6.7 Paso temporal para invertebrados migratorios

Este tipo de pasos se implementan para especies de animales que se desplazan de forma masiva y solo en ciertas épocas del año²⁷ por lo cual los pasos podrían ser colocados de manera temporal y ser retirados el resto del año. La identificación de las especies, así como la ubicación más conveniente queda bajo la responsabilidad del especialista en fauna, no obstante, el diseño, materiales, construcción y consideraciones geométricas y estructurales corresponde al campo de trabajo del ingeniero civil. Debido a la construcción de vías terrestres que bordean costas es común que la ruta se desarrolle cruzando la ruta entre zonas de manglar y playa donde algunas especies de crustáceos como los cangrejos (*Brachyura*) deben trasladarse para su reproducción. Se muestran las imágenes de pasos de este tipo que funcionan como PSFA y como PIFA.



Figura 26 Pasos para cangrejos (*Brachyura*) Isla Navidad, Australia.
a) Embebido en la carretera (PSFA) y b) Overpass desmontable (PIFA)

Fuente: Acceso abierto de internet

Como puede observarse en el inciso b) de las imágenes anteriores, estos pasos pueden resolverse mediante estructura metálica por la facilidad de instalación y las dimensiones requeridas. Las barreras de inducción como se verá más adelante juegan un papel muy importante en el funcionamiento de los pasos para fauna y abren una oportunidad para el uso de materiales reciclados ayudando a economizar recursos para su implementación (ver **Figura 27** Funcionamiento de las barreras de inducción en cangrejos).

²⁶ <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuando-las-aves-se-cruzan-con-el-AVE> (Ref.25)

²⁷ <https://sipse.com/novedades/cangrejo-azul-cancun-zona-hotelera-cruce-454976.html> (Ref. 26)



Figura 27 Funcionamiento de las barreras de inducción en cangrejos

Fuente: Acceso abierto de internet

4.6.8 Paso para fauna acuática

Los pasos para fauna acuática guardan una estrecha relación con las obras de drenaje en las vías terrestres. En este caso no estamos hablando del atropello de la fauna aunque si de una alteración significativa al medio en que habita una gran cantidad de peces y organismos invertebrados por causa de la construcción de vías terrestres. Por lo regular las especies acuáticas mantienen un desplazamiento continuo en ambas direcciones del flujo de un río por necesidades de reproducción y territorialidad de manera que cuando se construye una vía que cruza dicho flujo en ocasiones se genera un pequeño embalse aguas arriba por efecto de la obstrucción del cuerpo del terraplén a la vez que en el lado opuesto se presenta una descarga directa como se aprecia en la **Figura 28** Alcantarilla en carretera.

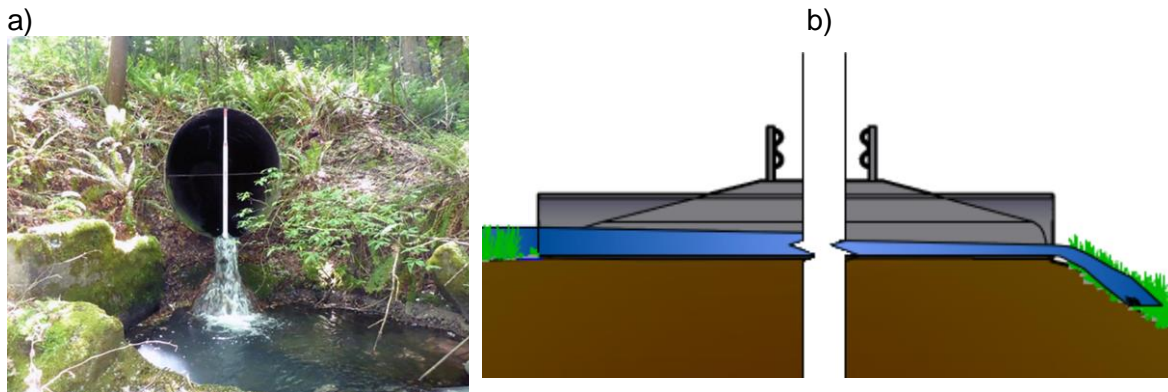


Figura 28 Alcantarilla en carretera

a) Alcantarilla que bloquea la migración de peces bajo la I-90 en Sunset Creek, Washington

b) Alcantarilla con desniveles a la entrada y salida

Fuente: a) Acceso abierto a internet, b) Elaboración propia.

Existen especies como el salmón (*salmo*) o la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) que como es sabido remontan nadando a contracorriente cuando el nivel del agua es alto, no obstante, existen especies que no pueden realizar el cruce remontando una vez que el flujo del río ha sido modificado desapareciendo por completo del lado aguas arriba. Una solución a este problema consiste en sustituir la alcantarilla por un puente que permita mantener intacto el río, ello supone que el ancho del puente sea igual o mayor al del cauce para disminuir las probabilidades de que el agua se remanse logrando que las condiciones hidráulicas y físicas del río no se vean modificadas. Como es natural, esta solución podría resultar poco eficiente en términos económicos toda vez que implica construir una obra de drenaje de mayores dimensiones. La pertinencia de construir una obra de este tipo por causa de la presencia de alguna especie acuática que se desee proteger es determinada por el especialista en fauna acuática quien proporcionará al ingeniero diseñador toda la información y requerimientos particulares con que debe contar la obra de drenaje para poder lograr la máxima eficiencia posible.

Si las condiciones topográficas no permiten mantener intacto el ancho del río entonces puede proponerse un modelo a base de pozas interconectadas o un canal artificial en forma de zigzag que permita contar en todo momento con un tirante mínimo de agua en su interior.

El diseño y construcción presuponen algo más que el cálculo hidráulico para una alcantarilla convencional pues requieren un entendimiento adecuado de las condiciones hidráulicas deseadas. La figura muestra el ejemplo de un sistema de pozas instaladas para permitir el flujo de peces en ambas direcciones salvando la diferencia de niveles en la descarga libre.



Arreglo con rocas que facilitan la formación de pozas naturales manteniendo un nivel permanente de agua.



Estructura que permite un tirante mínimo de agua suficiente para que los peces remonten hacia aguas arriba.

Figura 29 Ejemplos de la colocación de elementos que permiten el movimiento de peces en ambos sentidos cuando el río lleva poco caudal de agua o bien

Fuente: Manual de diseño de pasos para fauna silvestre (Ref.1)

4.7 Obras complementarias a los pasos para fauna

El funcionamiento correcto de los pasos para fauna silvestre requiere de la implementación de algunos elementos adicionales que ayuden a cumplir el propósito central que es la protección de la fauna silvestre en la construcción y operación de vías terrestres. A continuación, se describirán estos elementos explicando las características más importantes desde el punto de vista de la ingeniería civil.

4.7.1.1 Barrera de inducción

Una vez construidos los pasos para fauna se requiere que los animales sean conducidos para utilizarlos y ello puede lograrse mediante la instalación de barreras con la misma función que los rediles en un corral de bobinos.

Habitualmente esta función se realiza mediante la instalación de malla cinagética o venadera, con cercas de alambre de púas, mediante la construcción de franjas de tierra apilada o setos de árboles y arbustos. En cualquier caso, se recomienda que la barrera de inducción se instale a partir de la entrada y salida del paso para fauna extendiéndose al menos 100 metros hacia cada lado con la intención de generar un efecto de “embudo” para conducir a los animales hacia el paso para fauna aislando el cuerpo de la carretera o la vía férrea.

El inconveniente más notable del uso de estos elementos es que funcionan bien para animales de talla grande pero no así para los de talla pequeña como es el caso de muchas especies en nuestro país, por ello se agrega el uso de un rodapié de malla con luz pequeña. Ésta segunda barrera se coloca en la parte inferior de la cerca evitando la fuga de animales de talla menor hacia el cuerpo de la carretera o vía férrea.



Figura 30 Tendido de malla ganadera (izq) y malla ciclónica con rodapié (der)

Fuente: Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref. 1)

Un caso especial es el de las serpientes debido a que estas pueden fácilmente trepar y cruzar las barreras instaladas exponiéndose a cruzar por encima de la carpeta asfáltica en el caso de las carreteras en virtud de que como se sabe estos reptiles son atraídos hacia el calor que la radiación solar deposita en la carpeta asfáltica exponiéndose a ser atropellados.

Para lograr disuadir a estos animales se propuso el uso de un deflector colocado en la parte superior de una barrera totalmente impermeable como podría ser el caso de un muro de mampostería o en caso de usar una malla cinagética ésta debería apantallarse totalmente con un deflector con remate superior en forma curva. El diseño básico parte del conocimiento de que estos animales no pueden contorsionarse lo suficiente como para trepar evitando la forma del deflector (ver **Figura 31**).

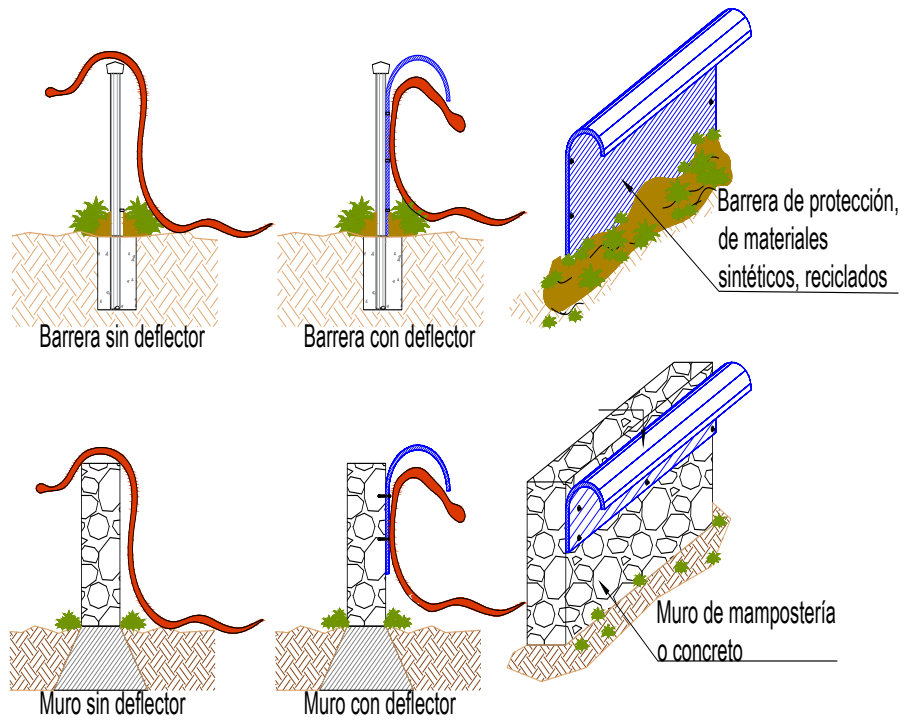


Figura 31 Ejemplos del funcionamiento del deflector para serpientes

Fuente: Modificado a partir del Manual de diseño de pasos para fauna silvestre (Ref. 1)

4.7.1.2 Señalización

Una parte importante de la prevención de los atropellamientos está relacionada con la implementación de señales adecuadas que ayuden a los conductores a tomar precauciones por la probable presencia de fauna silvestre en las carreteras. Por ello, es importante considerar la instalación de señales preventivas y restrictivas como parte de las obras que complementan el funcionamiento de los pasos para fauna. Alertando a los usuarios de las vías terrestres se puede ayudar a reducir el riesgo de colisiones con la fauna local y con ello disminuir el costo por accidentes de este tipo.

*“El Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 de la SICT, proporciona la señal preventiva SP-48 la cual se utiliza para indicar los sitios o zonas donde exista la posibilidad o se tenga la certeza de la presencia de fauna silvestre sobre la vialidad. La señal preventiva SP-48 FAUNA SILVESTRE está constituida por un pictograma que representa de manera general a las diferentes especies, sin embargo, éste puede representar a otra especie en particular”²⁸ (ver **Figura 32**).*



Figura 32 Señal preventiva SP-48 Fauna silvestre

Fuente:Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref. 1)

Adicionalmente a este pictograma, la DGST de la SICT ha autorizado el uso de nuevos pictogramas para especies consideradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, -los nuevos pictogramas para fauna silvestre se muestran a continuación.

²⁸ Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref. 1)

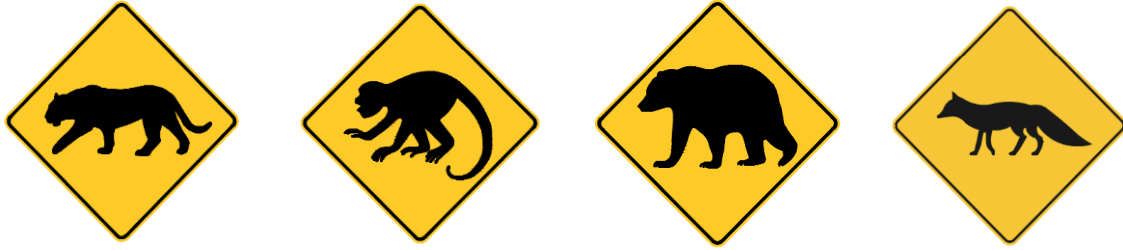


Figura 33 Últimos pictogramas para la representación de fauna silvestre autorizados por la DGST de la SICT

Fuente:Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref. 1)

CAPÍTULO 5 CASOS DE ESTUDIO

5.1 Caso 1 Libramiento “Tintal-Playa del Carmen” Estado de Quintana Roo

El Libramiento **Tintal-Playa de Carmen** pertenece al proyecto Libramiento Cedral-Tintal-Playa del Carmen el cual contempló la construcción de dos ramales, el primero denominado Cedral-Tintal que tiene su inicio en el entronque a nivel denominado "Entronque Cedral" al oeste del Estado de Quintana Roo en el cadenamiento 100+041 del proyecto el cual conectó con la Carretera de Kantunil en el Municipio de Lázaro Cárdenas, en dirección al este del Estado rumbo a la localidad de Playa del Carmen. El inicio del Ramal **Tintal-Playa del Carmen** se construyó en el segundo entronque a desnivel denominado "Entronque Tintal", el cual conectó al proyecto con la Autopista de peaje Mérida- Cancún y con la Carretera Federal 180 , ambos tramos se interconectaron justamente en la igualdad $IG\ 48+178.423 = 112+153.388$ donde el cadenamiento comienza a disminuir hasta finalizar el trazo en el kilómetro 6+956 donde se conectó con el Boulevard Luis Donald Colosio (ver **Figura 34** Representación de los tramos del libramiento).



Figura 34 Representación de los tramos del libramiento

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29).

El Ramal se construyó en una sección tipo A2 según la clasificación de la S.C.T.a base de un solo cuerpo con ancho de corona de 12 m que incluye acotamientos exteriores de 2.5 m y dos carriles de 3.5 m cada uno dentro de un derecho de vía adquirido de 40 metros (ver **Figura 35** Sección transversal del Libramiento Tintal-Playa del Carmen).

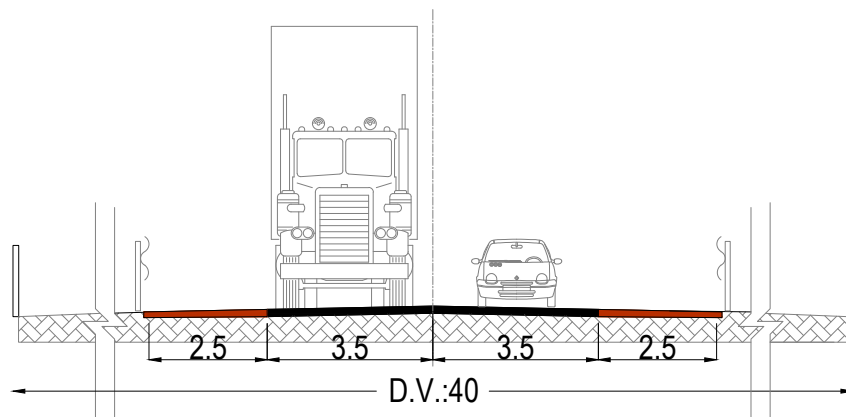


Figura 35 Sección transversal del Libramiento Tintal-Playa del Carmen

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29).

5.1.1 Características principales del Libramiento Tintal-Playa del Carmen

De acuerdo con las condiciones del suelo de desplante del proyecto, el proyecto ejecutivo contempló la construcción de una carpeta de rodamiento de concreto asfáltico con un espesor promedio de 6 cm previa base asfáltica de 10 cm sobre una base hidráulica de 23 cm, subrasante de 30 cm de espesor y capa subyacente de 50 cm de espesor antes de llegar al cuerpo del terraplén cuyo espesor es variable.

Con la finalidad de mitigar los impactos identificados en la MIA así como permitir la permeabilidad de la zona, el proyecto se modificó con la propuesta de construcción de 5 pasos para personas y ganado (PSPG), 4 pasos inferiores de vehículos (PIV's) y 31 pasos Superiores de Fauna (PSF) así como 74 obras de drenaje menor (18 losas y 56 tubos) y para evitar la proliferación de asentamientos humanos irregulares en sus inmediaciones se contempló el cercado del libramiento.

5.1.2 Índice de atropellamiento en vías terrestres aledañas al Proyecto

Durante los trabajos en campo fue posible recolectar datos de atropellamientos en algunas carreteras aledañas al trazo del Proyecto. Derivado de lo anterior se obtuvo la **Tabla 9** Registro de atropellos en carreteras aledañas al Proyecto que muestra la evidencia de la probabilidad de atropellos por especie que se presentarían de no construirse los pasos para fauna.

Tabla 9 Registro de atropellos en carreteras aledañas al Proyecto

Carretera	Distancia prospectada (m)	Registro de atropellos					IKA Instantáneo		IKA Anual	
		Especie/individuos					Especie	Individuos	especie	Individuos
		Anfibios	Reptiles	Aves	Mamíferos	Total				
Federal Cancun-Tulum	110	1/1	11/20	7/9	12/40	31/70	0.28	0.63	2.29	5.17
Federal Merida-Cancun	40	3/6	9/9	2/2	3/5	17/22	0.42	0.55	3.45	4.47
Autopista Merida-Cancun	162	0/0	6/15	5/5	9/23	20/43	0.12	0.26	1.03	2.15
Puerto Morelos-Leona Vicario	35	1/14	12/28	2/2	2/5	17/49	0.48	1.4	3.94	11.38
Terracerías Ejido de Playa del Carmen	30	1/2	11/16	1/1	1/1	15/20	0.50	0.66	4.06	5.42
Tulum-Pachen	55	0/0	5/6	1/1	3/4	9/11	0.16	0.20	1.33	1.62
Total	432	4/23	27/94	13/21	19/77	63/215	0.14	0.49	1.18	4.04

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

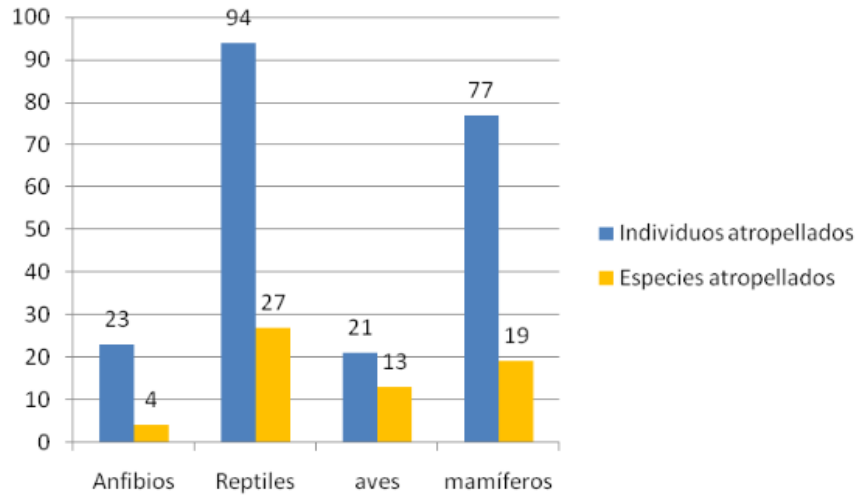


Figura 36 Registro de atropellos en carreteras y terracerías aledañas al Proyecto por grupo faunístico

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

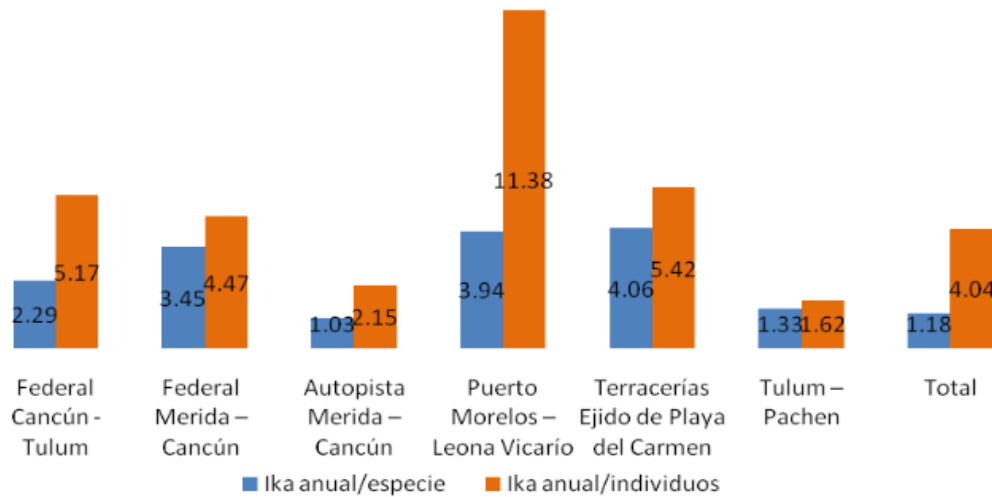


Figura 37 Indices kilométricos de atropellos (IKA's) en carreteras y terracerías aledañas al Proyecto

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

En las siguientes imágenes se muestra la evidencia recolectada que permite observar la riqueza de especies en la zona en que se desarrolló el Proyecto, así como las características de las especies afectadas lo cual permitirá dimensionar los pasos para fauna necesarios. Como se ha mencionado anteriormente, la fauna silvestre mexicana es mayormente de talla mediana a pequeña, aunque diversa, por esta razón los pasos para fauna propuestos fueron en su mayoría tubos de drenaje con función mixta.



Figura 38 Especies endémicas: a) oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), b) puerco espín (*Coendou mexicanus*), c) guanqueque (*Dasyprocta punctata*), d) armadillo (*Dasypus novemcinctus*), e) zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), f) tlacuache (*Didelphis marsupialis*), g) coati (*Nasua narica*) y h) conejo (*Sylvilagus floridanus*)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

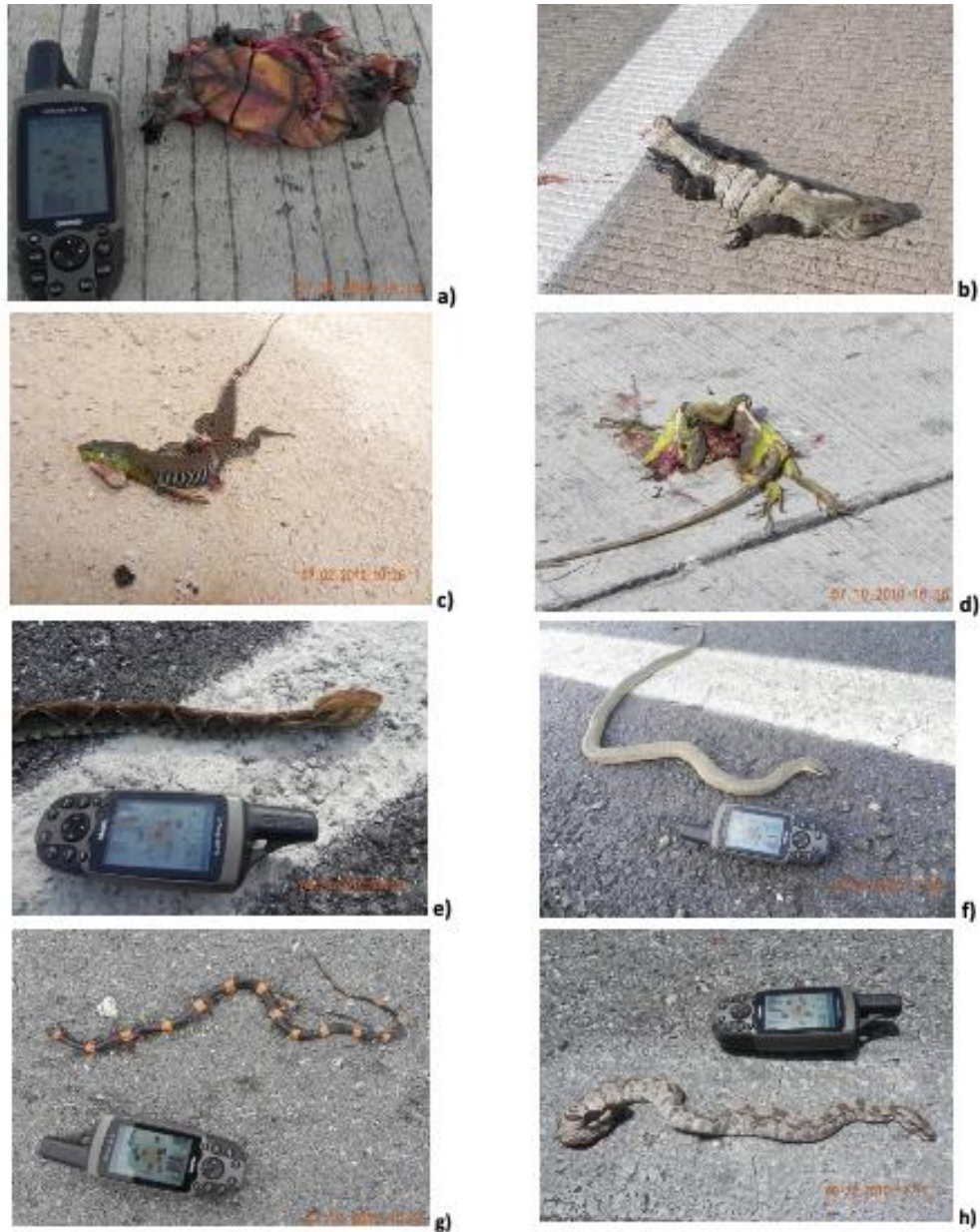


Figura 39 Especies endémicas: a) Tortuga pecho quebrado (*Kinosternon leucostomum*), b) iguana espinosa rayada (*Ctenosaura similis*), c) ameiva arcoiris (*Ameiva undulata*), d) lemancto coronado (*Laemantus serratus*), e) nauyaca (*Bothrops asper*), f) culebra guarda caminos rayada (*Conopsis lineatus*), g) culebra chupa caracoles (*Dipsas brevifacies*) y h) Boa (*Boa constrictor*)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)



Figura 40 Especies endémicas: a) aguililla caminera (*Buteo magnirostris*), b) zopilote común (*Coragyps atratus*), c) garrapatero pijuy (*Crotophaga sulcirostris*), d) chipe suelero (*Seiurus auropellatus*), e) chachalaca (*Ortalis vetula*) y f) bolsero dorso rayado (*Icterus pustulatus*)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

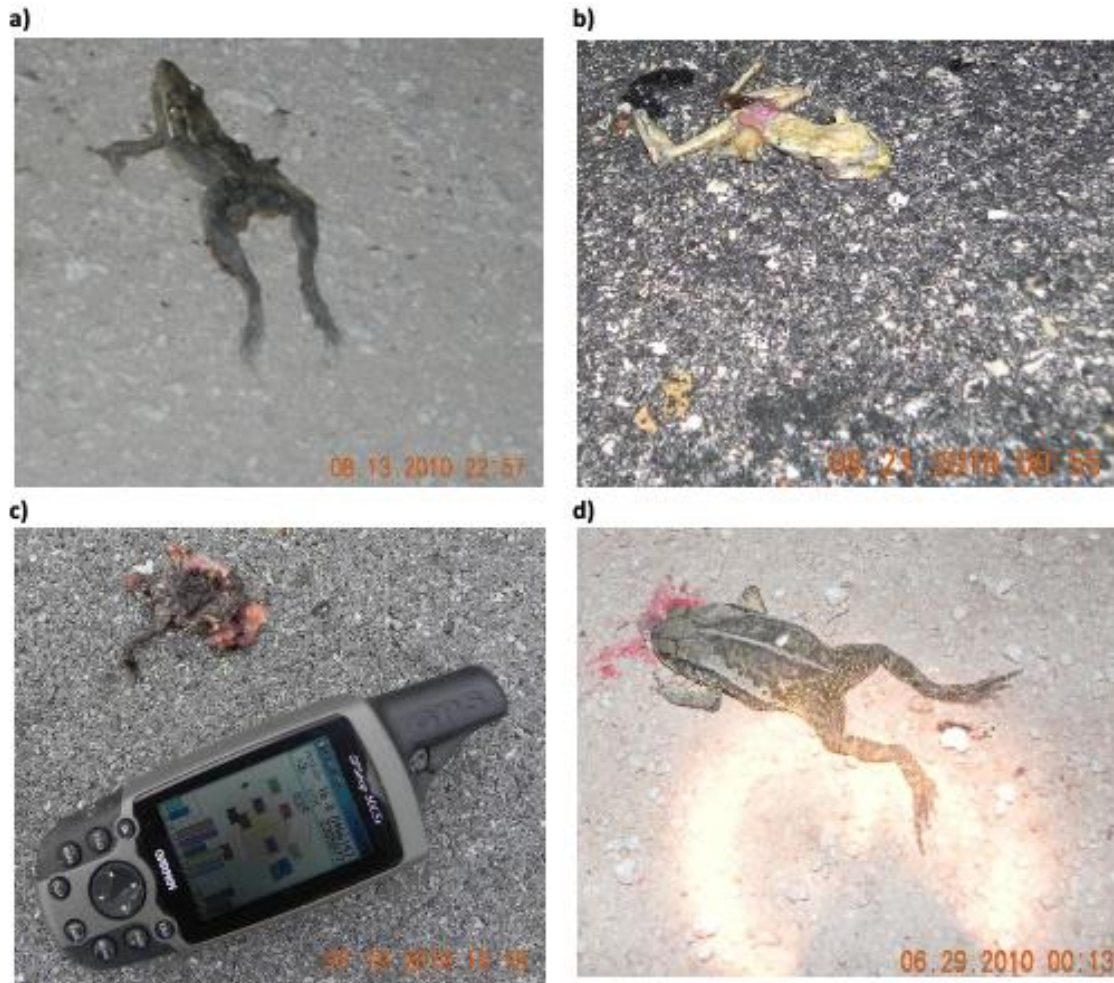


Figura 41 Especies endémicas: a) rana de río grande (*Lithobates berlandieri*), b) rana de árbol trepadora mexicana (*Smilisca baudini*), c) rana oveja común (*Hypopachus variolosus*) y d) sapo del golfo (*Ollotis valliceps*)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

De acuerdo con la evidencia anterior y considerando la longitud de 6.5 kilómetros de carreteras aledañas observadas se concluyó que por cada 0.49 kilómetros se presentó cuando menos un atropello de fauna silvestre lo cual pone de manifiesto la importancia y urgencia de la implementación de los pasos para fauna en proyectos de vías terrestres principalmente en regiones con una biodiversidad alta.

5.1.3 Criterios para la ubicación de los pasos para fauna

En este punto cabe hacer algunas aclaraciones, para fines del presente documento se describen solo algunos procedimientos y criterios para la ubicación de los pasos para fauna pues, como es natural dentro del trabajo multidisciplinario, destaca la investigación por parte de los biólogos quienes determinan mediante otro tipo de criterios basados en la academia

y en la experiencia la selección de datos que permitan reforzar las conclusiones, en este trabajo de tesis únicamente se presenta una parte de las metodologías utilizadas y que desde el punto de vista del autor tienen mayor relación con la ingeniería civil. Por otra parte, solo se presentan algunas de las metodologías utilizadas para determinar los tipos de pasos para fauna específica que es una de las especies más representativas de la región como lo es el jaguar (*Panthera onca*) no obstante se tiene en cuenta el principio de que el paso que funcione para esta especie y para muchas otras especies toda vez que se ha demostrado mediante evidencia fotográfica que cualquier paso para fauna es utilizado prácticamente por cualquier especie.

Dicho lo anterior, a continuación, se desarrollará una descripción somera de la metodología que llevó a la ubicación y dimensionamiento de los pasos para fauna, específicamente los pasos para Jaguar del Libramiento Tintal-Playa del Carmen como una de las medidas de mitigación de los impactos adversos generados por la construcción del Proyecto.

Tanto para la delimitación del SAR como para el establecimiento de los objetivos de la MIA: Libramiento Cedral-Tintal-Playa del Carmen se ubicó y consideró el denominado “**Corredor hidroforestal Yum Balam hasta Sian Ka’an**”.

*“El trazo del proyecto cruza perpendicularmente al corredor hidroforestal (**Yum Balam hasta Sian Ka’an**) por el que se desplazan animales terrestres desde el área de protección de flora y fauna de Yum Balam, en el Norte de Quintana Roo, hasta la reserva de Sian Ka’an, en la parte media del estado”, “En este corredor se puede encontrar agua todo el año y está conformado por masas de vegetación selvática con alto grado de conservación, por lo que se le considera como un corredor hidroforestal.*

*Estas condiciones (agua todo el año y densa cobertura vegetal) hacen que del corredor un sitio 28 idóneo para el desplazamiento de animales terrestres como el jaguar, el puma, el tapir y el ocelote, entre otros; desde el área de protección de flora y fauna de Yum Balam, en el Norte de Quintana Roo, hasta la reserva de Sian Ka’an, en la parte media del estado...” (ver **Figura 42** Corredor hidroforestal Yum Balam hasta Sian Ka’an).*



Figura 42 Corredor hidroforestal Yum Balam hasta Sian Ka'an

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

Con base en lo anterior, se destacó la importancia de proteger y conservar el corredor biológico “...para que las poblaciones de animales, particularmente de jaguar, puedan sobrevivir y mantenerse sanas, conservando el intercambio génico y el flujo de agua entre las de diferentes zonas”.

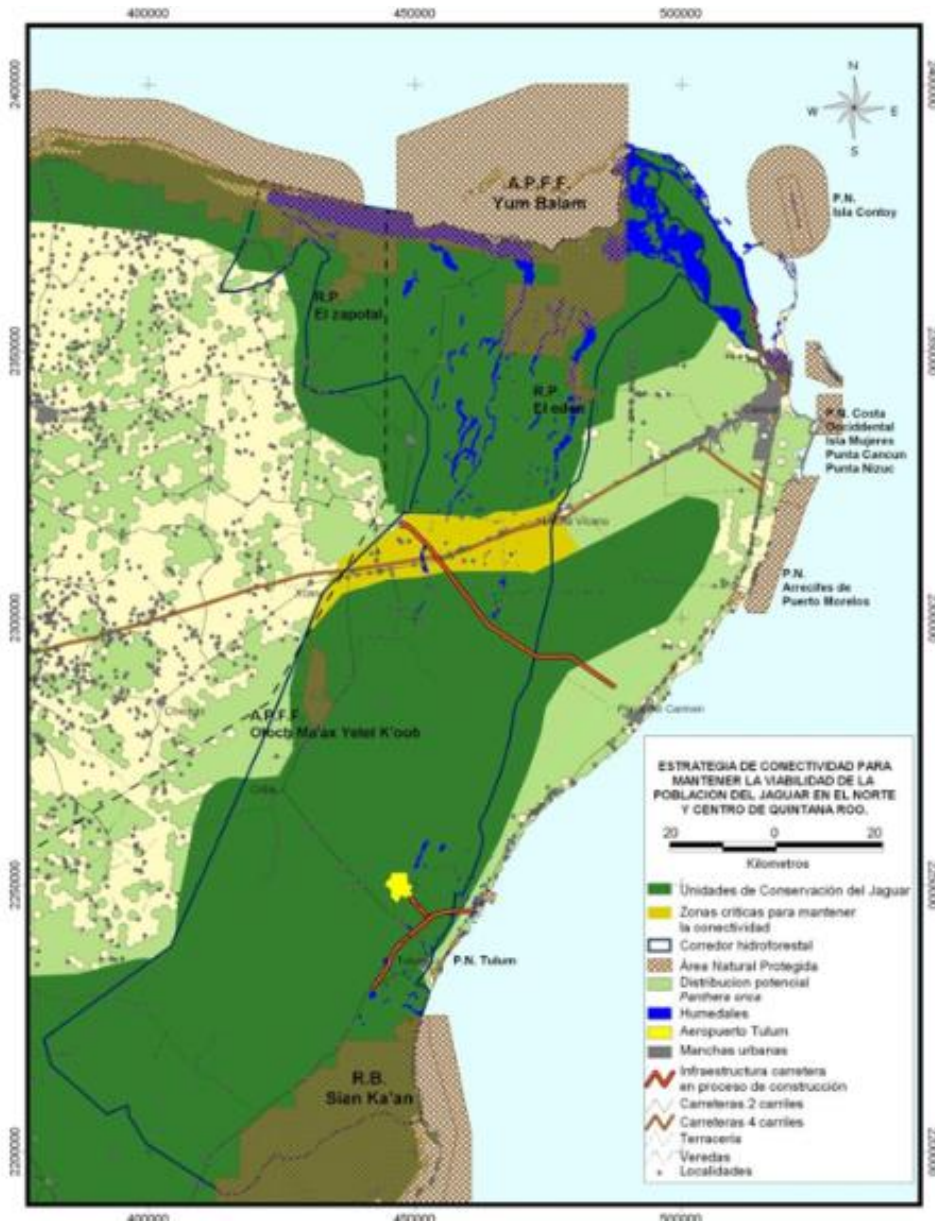


Figura 43 Ubicación del corredor hidroforestal Yum Balam hasta Sian Ka'an con respecto al proyecto carretero.

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

En virtud de que el proyecto se localizó en las inmediaciones de dos de las cuatro “Unidades de conservación del jaguar” (ver **Figura 44** Ubicación del proyecto con respecto a las unidades de conservación del jaguar en la Península de Yucatán) resultó conveniente la colocación de cámaras trampa para acumular datos que permitieran la ubicación más conveniente de los pasos para fauna,



Figura 44 Ubicación del proyecto con respecto a las unidades de conservación del jaguar en la Península de Yucatán

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

“Con los registros obtenidos en campo y mediante la utilización del programa Maxent (máxima entropía), se generaron modelos (ver **Figura 45** Idoneidad del hábitat para el jaguar (*Panthera onca*) de acuerdo al modelado con el programa MAXENT) que representan la distribución potencial del jaguar en el área de estudio, considerando las probabilidades de incidencia de estos animales bajo diferentes condiciones de nicho ecológico” y con ello se realizó la propuesta de ubicación de los pasos para fauna.

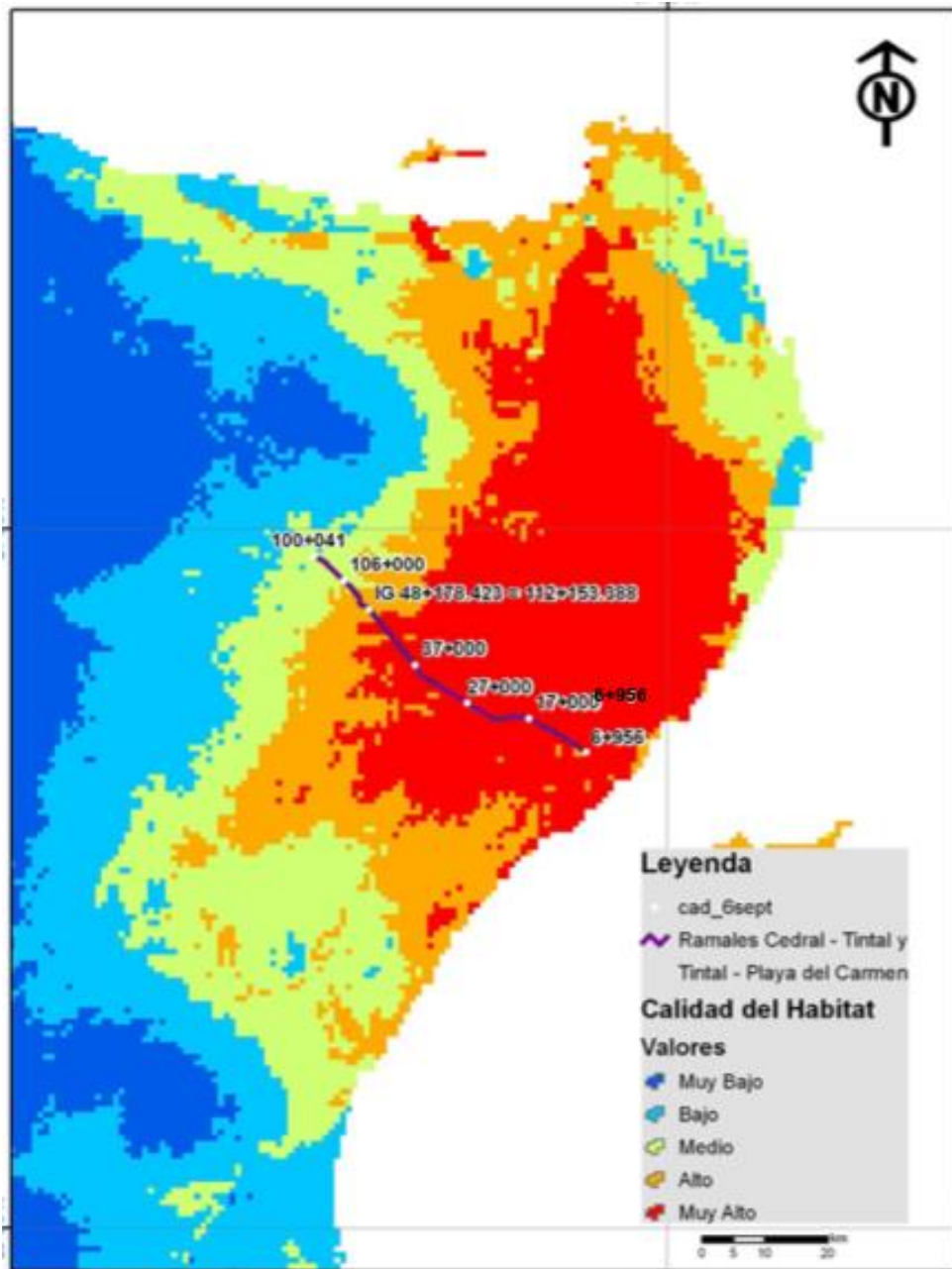


Figura 45 Idoneidad del hábitat para el jaguar (*Panthera onca*) de acuerdo al modelado con el programa MAXENT

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

Una vez determinadas las zonas idóneas según el programa MAXENT y en combinación con los datos obtenidos de las cámaras trampa se plantearon corredores de desplazamiento y dispersión que al cruzarlos gráficamente con el trazo del proyecto del libramiento permitieron identificar los posibles sitios para la ubicación de los pasos para fauna, este análisis permitió también identificar el efecto barrera y la fragmentación del

hábitat para varias especies. En la **Figura 46** Modelo de los corredores potenciales de desplazamiento de los jaguares en la zona del proyecto se presenta la estimación de las rutas potenciales de desplazamientos de los jaguares.

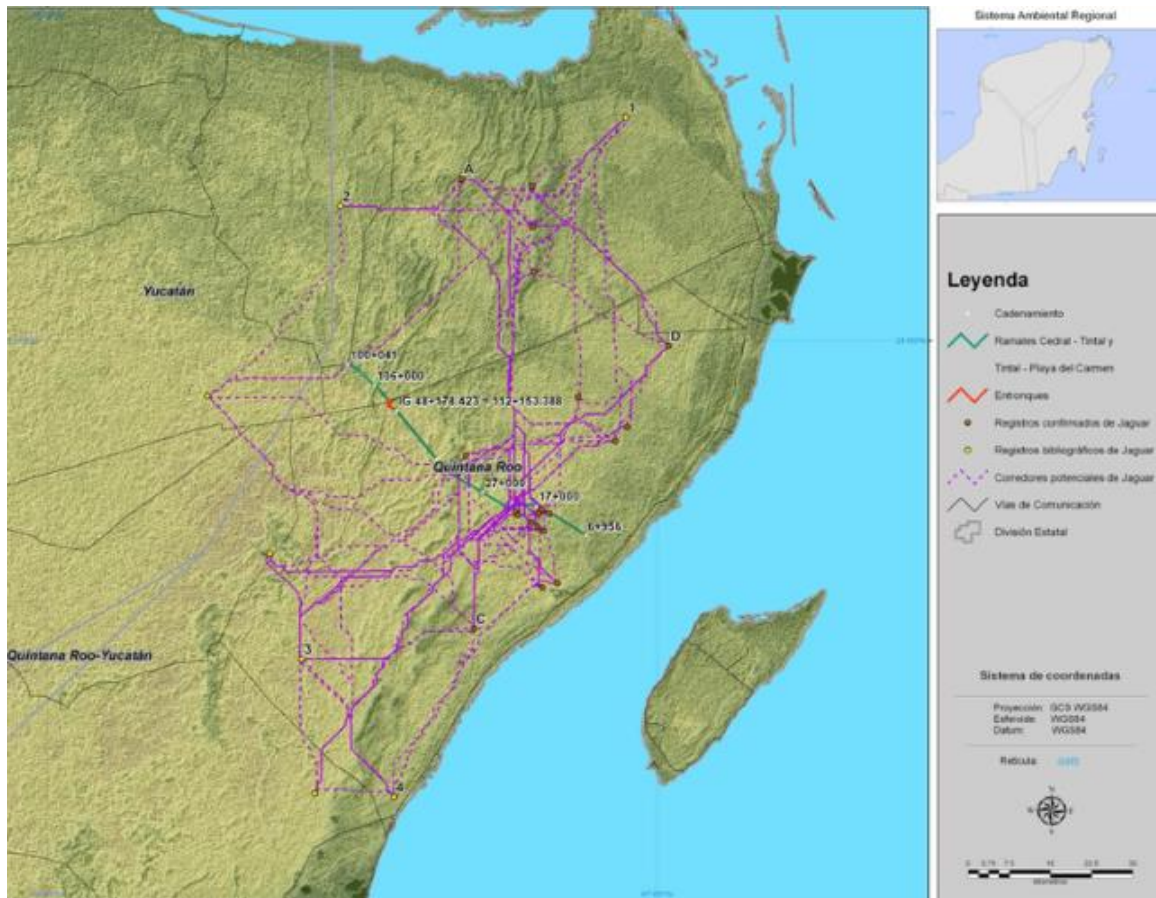


Figura 46 Modelo de los corredores potenciales de desplazamiento de los jaguares en la zona del proyecto

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

El siguiente paso consistió en la revisión de la geometría (alto y ancho) de los pasos propuestos contrastando a ésta con los niveles de rasante señalados en el anteproyecto. Durante esta etapa se tomaron acuerdos entre los miembros del equipo interdisciplinario y el promovente del proyecto para determinar la altura más conveniente que debería tener cada modelo propuesto para el paso de fauna y que en este caso resultó en las propuestas que se detallan más adelante.

Cabe señalar que en caso de que la altura del paso sea mayor que la altura de la rasante del proyecto es factible construir el paso como un deprimido quedando la base por debajo del nivel del terreno natural. En este sentido y por recomendación de los biólogos es conveniente que el suelo por donde pise la fauna sea lo más natural posible pues a veces la sensación de pisar concreto pulido o rugoso desalienta el cruce de los animales por tratarse de un material artificial.

5.1.4 Construcción de pasos para fauna silvestre en el Libramiento Tintal-Playa del Carmen

Una vez desarrollada la identificación de las zonas más probables de cruzamiento de los corredores del jaguar con respecto al trazo del proyecto se procedió a la propuesta de construcción de los pasos para fauna.

“...la construcción de los pasos fauna, evitarán la pérdida de comunicación entre las especies que se encuentren en ambos lados de la infraestructura carretera y durante todo el año, esto con la finalidad de permitir una distribución homogénea de la fauna, a todo lo largo del trazo carretero”.

La selección de los tipos de estructuras consideradas para implementar los pasos para fauna se fundamentó en los siguientes tres criterios:

- *El interés del tramo de conectividad ecológica en general y en particular para los desplazamientos de fauna.*
- *La topografía de la zona en el sector en que se ha establecido la ubicación de un paso de fauna.*
- *Las especies o grupos taxonómicos de referencia para uso de los pasos de fauna.*

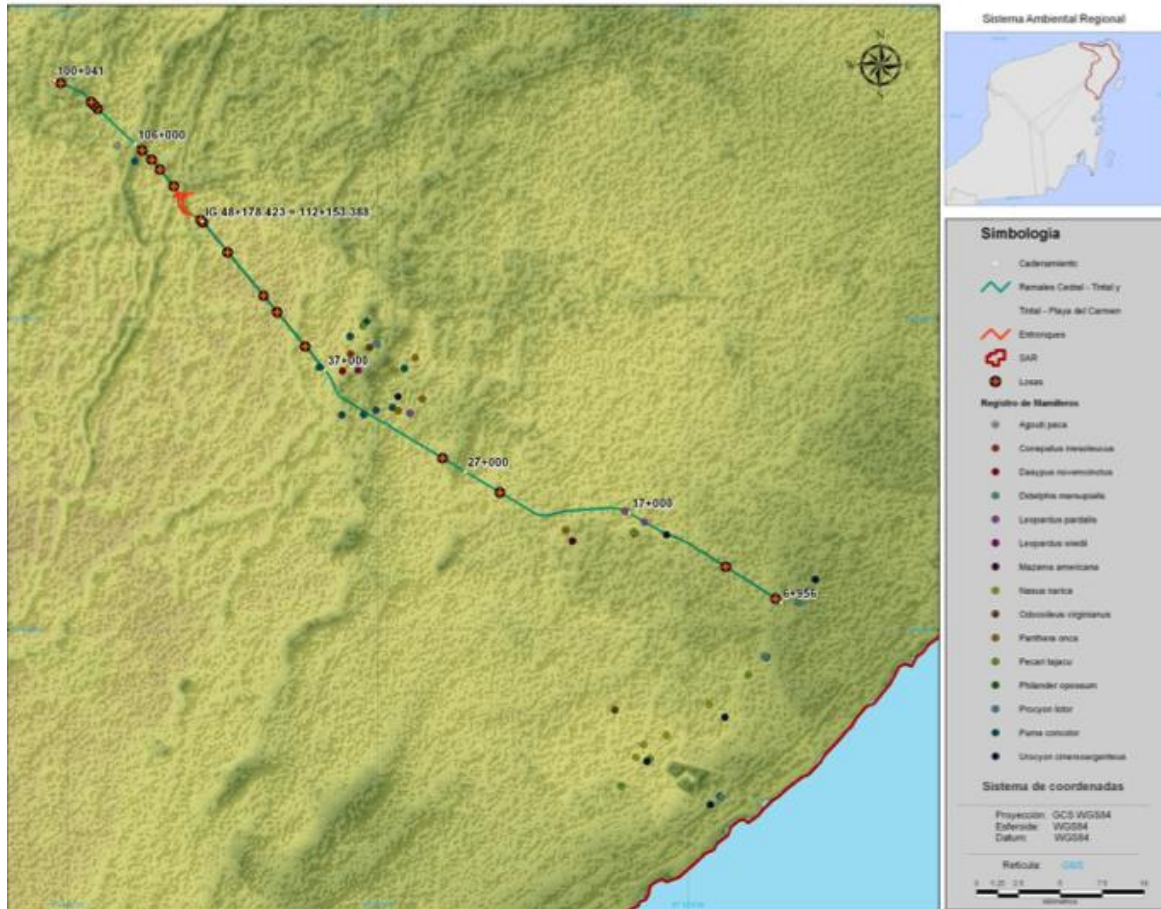
De acuerdo con lo anterior, se consideró la instalación de las siguientes estructuras con un potencial uso mixto, es decir, que trabajarían como obras de drenaje y como pasos para fauna silvestre:

- 52 tubos de concreto de 1.5 m de diámetro los cuales favorecerían el paso de especies pequeñas como anfibios, reptiles y mamíferos pequeños y medianos
- 8 alcantarillas de losa armada con dimensiones de 2.0 m por 1.0 m las cuales proporcionarían una alta funcionalidad para el cruce de mamíferos medianos
- 10 alcantarillas con dimensiones de por 2.0 m por 1.5 m Cabe destacar que las losas con alturas mayores a 2 m, tenían alto potencial para permitir el desplazamiento natural de fauna grande (venados y pumas)
- 31 pasos de fauna tipo losa armada de medidas 4 x 3 m
- 15 pasos aéreos propuestos para la fauna de hábitos arborícolas como ardillas, monos, tlacuaches, martuchas, entre otras

El producto final del proceso descrito anteriormente permitió obtener una ubicación aproximada para la construcción de los pasos para fauna (ver **Figura 47** Ubicación de Pasos para fauna mediana (PSF-M Lc-2.0x1.0 m) propuestos para el proyecto)

5.1.5 Paso Superior Fauna Mediana (PSF-M)

“Este tipo de paso funciona principalmente para la fauna mediana (cabeza de viejo, tepezcuintles, jabalís, zorras, tejones, mapaches, osos hormigueros, martuchas, etc.) quienes pueden emplear este tipo de estructuras; losas menores 2 x 1.5 y 2 x 1 m”.



Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

5.1.6 Paso Superior Fauna Mediana y Grande (PSF-MG).

“Este tipo de paso funciona principalmente para mamíferos grandes (jaguares, pumas y venados) quienes pueden emplear este tipo de estructuras; losas mayores 3 x 4 m”.

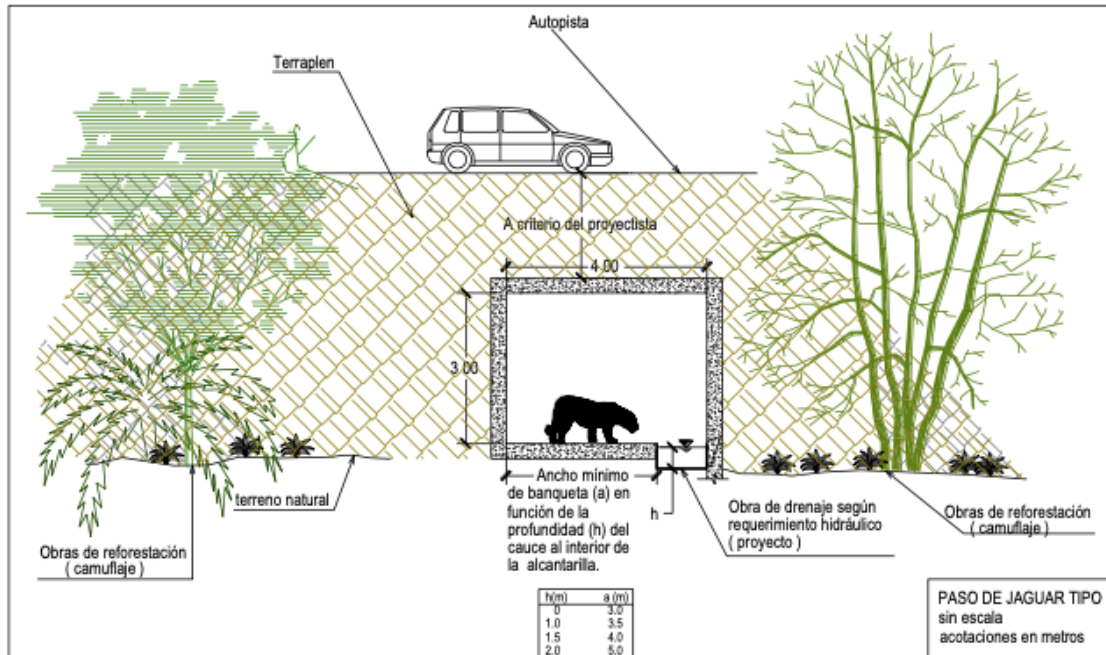


Figura 48 Esquema del Paso Superior de Fauna Mediana y Grande PSF-MG (Mamíferos grandes)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

Durante el desarrollo de estas propuestas para pasos de fauna se observó la necesidad de contar con una banquetta dentro de la obra de drenaje que permitiera separar el paso de los animales del flujo del agua en virtud de que el hecho de pisar suelo húmedo desalienta a los animales del cruce. En este sentido se estableció una relación directa entre la altura o gálibo vertical de la estructura y el ancho de la banquetta siguiendo el principio de que a más altura mayor ancho de la banquetta y por consecuencia mayor probabilidad de cruce de la fauna silvestre primordialmente del jaguar. Cabe destacar que el diseño de este tipo de estructuras resulta de las consideraciones geométricas planteadas con base en las necesidades de la fauna por ello el trabajo del ingeniero civil resulta de importancia fundamental pues se basa en la interpretación de dichos requerimientos y la consecuente adaptación a la realidad constructiva.

También se planteó la necesidad de reforestar con especies nativas las inmediaciones del paso para fauna en una suerte de camuflaje en virtud de que los espacios sin cobertura vegetal no favorecen la sensación de seguridad de la fauna y con ello disminuye la probabilidad del uso de los pasos. En la **Figura 49** Ubicación de Pasos para Fauna Grande tipo PSF-G (4 x 3 m) a lo largo del trazo de proyecto: Registros de Pumas (Puma concolor) se muestra el mapa de ubicación que resultó más conveniente para este tipo de pasos.

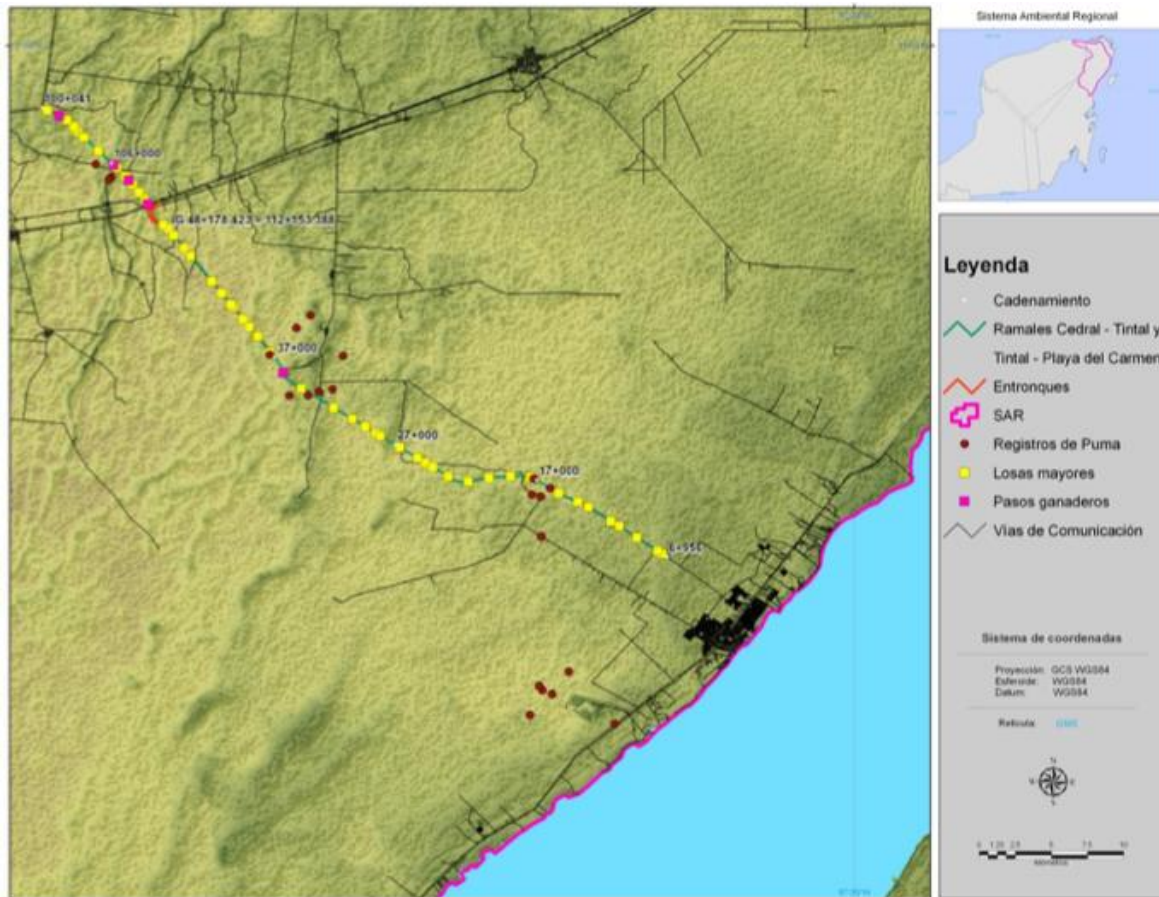


Figura 49 Ubicación de Pasos para Fauna Grande tipo PSF-G (4 x 3 m) a lo largo del trazo de proyecto: Registros de Pumas (Puma concolor)

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

5.1.7 Pasos inferiores de Fauna (PIF) Superclaro

“La presencia de grandes depredadores en la región es muy importante para mantener el equilibrio del medio ambiente, razón por la cual se propone la ubicación de pasos inferiores para fauna en los dos sitios considerados como críticos para la movilidad y/o distribución de felinos (jaguar y puma). La ubicación propuesta de los (estos) pasos está referida con observaciones directas realizadas en campo de estas especies en los cadenamientos 20+934 y 35+200”.

Cabe aclarar que este tipo de pasos solo se presentaron en calidad de propuesta con base en los datos de distribución de hábitat potencial y corredores biológicos incluyendo el registro del uso de ciertas obras de drenaje por la fauna en las carreteras existentes en ese momento. No obstante en la **Figura 50** Propuesta de Paso Inferior de Fauna (PIF) ó Superclaro para el libramiento Tintal-Playa del Carmen se presenta el esquema conceptual del superclaro considerado en la propuesta. Existen muchas variantes de este tipo de pasos que ya han probado su eficacia a nivel mundial, no obstante, en el presente documento se

muestra una propuesta de superclaro elaborada por el autor de este trabajo de Tesis para el Libramiento Tintal-Playa del Carmen. Los requerimientos eran básicamente la necesidad de poder retener el suelo orgánico suficiente en la parte superior para sustentar la vida de árboles que funcionarían como camuflaje protegiendo a la fauna al cruzar, estos árboles serían elegidos especialmente y su altura no debería superar la del resto de los árboles alrededor toda vez que la zona es susceptible a la presencia de huracanes, asimismo las raíces de estos individuos deberían poder sujetarse de manera eficiente a la estructura por lo cual se propuso un arreglo de trabes sobre una charola de concreto que permitiría contener el suelo de sustento (ver **Figura 52** Detalle de trabes y charola-losa). La charola contaría con un bombeo de drenaje para permitir el flujo del agua de lluvia. Es claro que el uso para cruce de personas, ganado y maquinaria agrícola estaría absolutamente restringido pues en virtud de la dimensión del superclaro no sería posible cumplir con los factores de seguridad de cualquier puente carretero convencional.

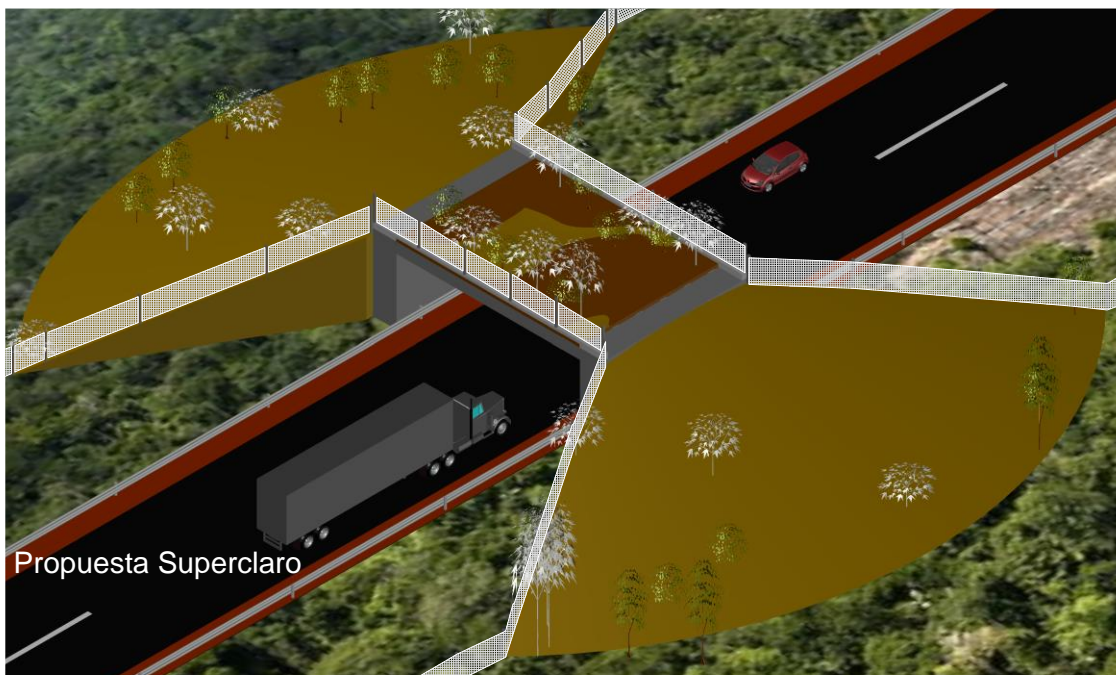


Figura 50 Propuesta de Paso Inferior de Fauna (PIF) ó Superclaro para el libramiento Tintal-Playa del Carmen

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

Destaca en la propuesta la adaptación de la estructura para cubrir los requerimientos como el soporte para el suelo orgánico que dará sustento a la vegetación sembrada la cual refuerza la confianza de la fauna para cruzar por el paso. Asimismo, las trabes de concreto armado favorecerán el anclaje de las raíces de los árboles plantados evitando a la vez la erosión del suelo orgánico (ver **Figura 52**).

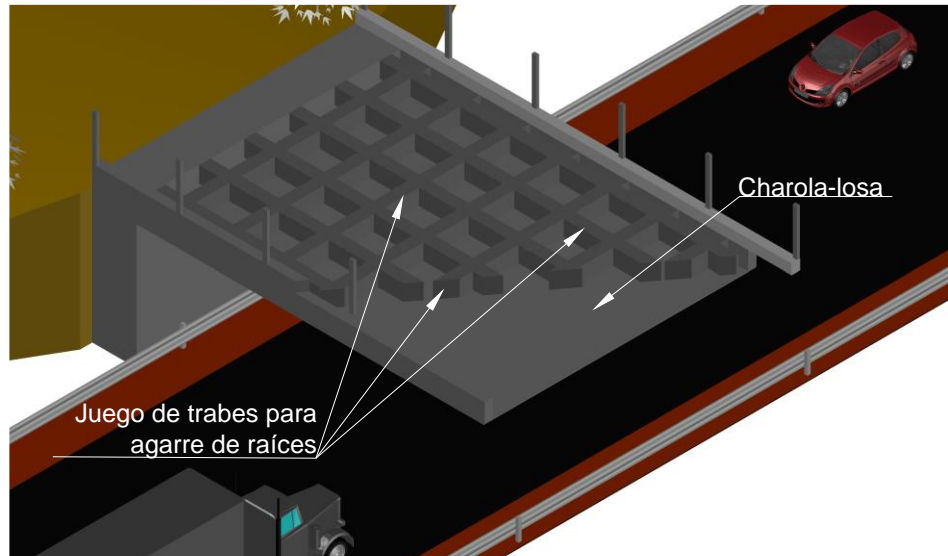


Figura 51 Detalle de configuración propuesta para el PIF

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

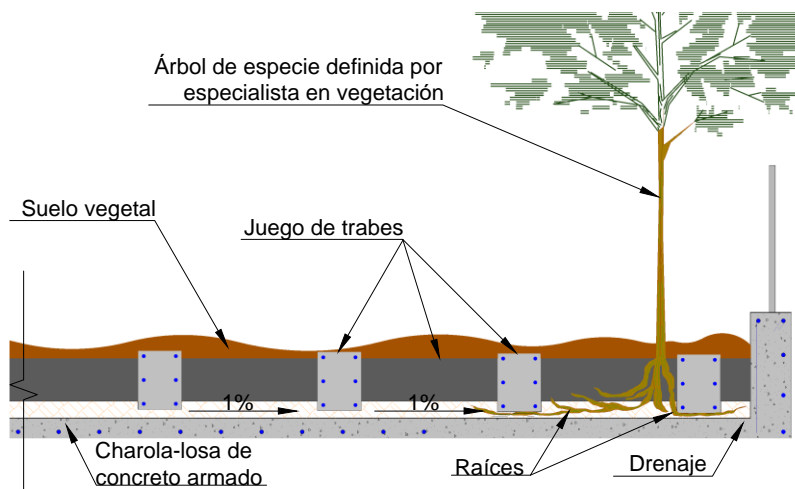


Figura 52 Detalle de traves y charola-losa

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

5.1.8 Pasos Aéreos para Fauna (PAF)

“Este tipo de paso, es importante en zonas donde se distribuyen especies de hábitos trepadores como el mono araña y el mico de noche... Para el proyecto se considera la construcción de 15 pasos aéreos distribuidos a lo largo del trazo”. En su momento se propuso un tipo de paso para fauna trepadora como el que se muestra en la **Figura 53**, **Figura 54** Alzado del Paso Aéreo para Fauna trepadora y **Figura 55** Detalles del Paso Aéreo para Fauna trepadora propuesto para el libramiento Tintal-Playa del Carmen.

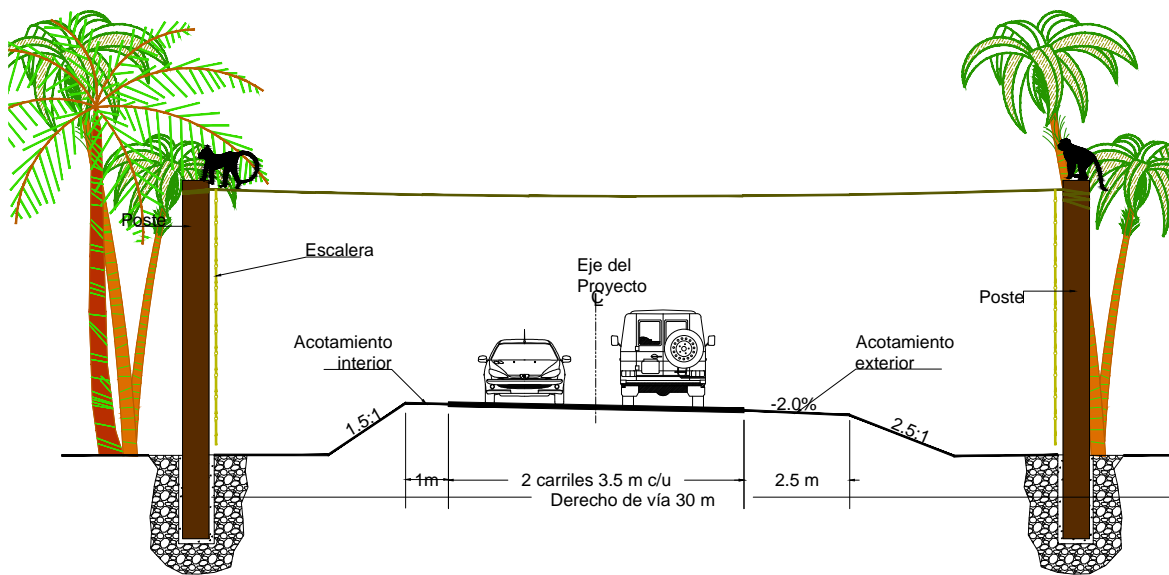


Figura 53 Propuesta de Paso Aéreo para Fauna trepadora para el libramiento Tintal-Playa del Carmen

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

Esta propuesta sugirió la fabricación de estas estructuras a base de dos postes de madera de la zona o provenientes del desmante efectuado de 30 cm de diámetro unidos con una catenaria a base de cuerdas de plástico Nylon de 3/4". Para acceder a la pasarela se propuso una escalera tipo marina con tramos de madera y cuerdas en cada extremo, los postes serían hincados a 1.5 m de profundidad.

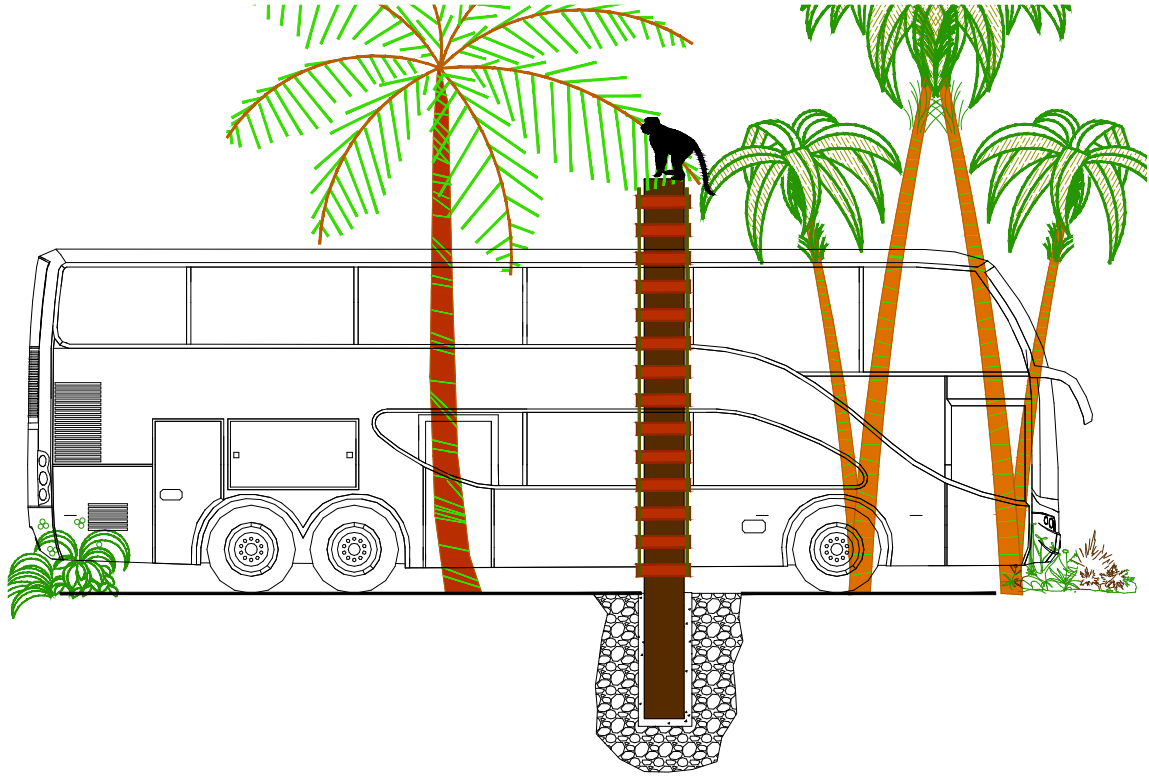


Figura 54 Alzado del Paso Aéreo para Fauna trepadora propuesto para el libramiento Tintal-Playa del Carmen

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

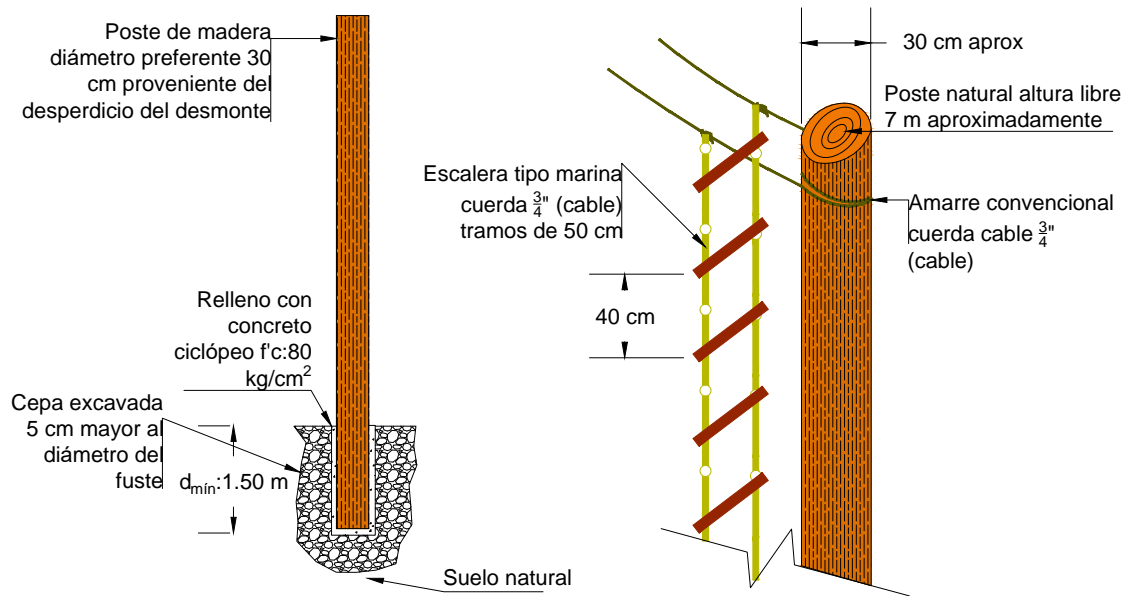


Figura 55 Detalles del Paso Aéreo para Fauna trepadora propuesto para el libramiento Tintal-Playa del Carmen

Fuente: MIA – REGIONAL "RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM" EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

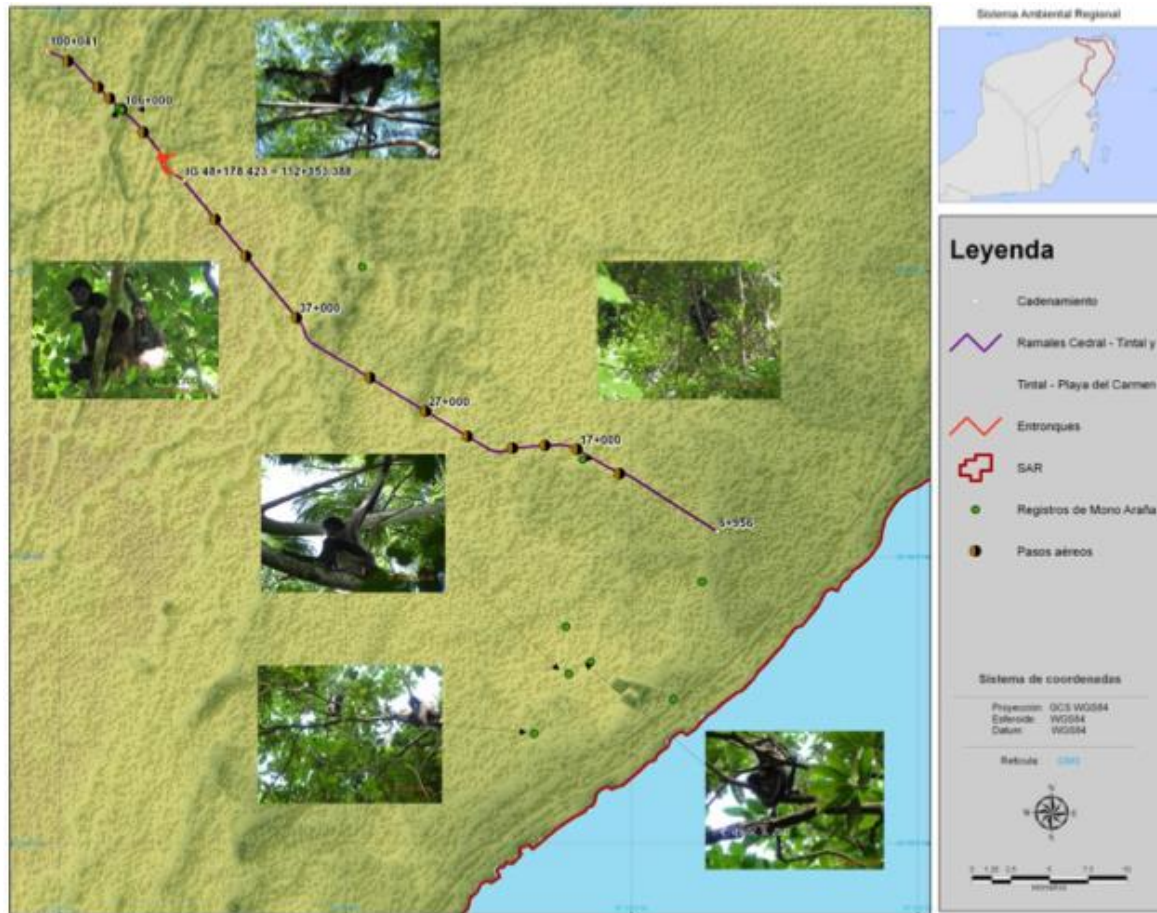


Figura 56 Ubicación de Pasos Aéreos para fauna trepadora (PAF) con respecto al trazo del Proyecto

Fuente: MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO (Ref.29)

5.1.9 Tubos: Paso Superior para Fauna pequeña (PSF)

“Este tipo de paso, es importante en zonas donde la topografía es plana y se presentan manchones de vegetación que funcionan como corredores, ... está dirigido principalmente hacia los mamíferos de talla chica (ardillas, ratas, tlacuaches, ratones, etc.). Aunque también permite el flujo de anfibios (sapos y ranas) y reptiles (iguanas, serpientes y lagartijas)”.

Los tubos utilizados en esta propuesta fueron fabricados en concreto armado para favorecer la durabilidad de la obra evitando reparaciones futuras y mantenimiento costoso. Como medida de protección adicional a los pasos para fauna se propuso en su momento generar un corte vertical en la orilla del talud en las inmediaciones de los tubos instalados con la finalidad de desalentar a ratones, serpientes, lagartijas, ranas y otros animales de talla pequeña para cruzar por encima de la carpeta de rodamiento evitando con ello el atropello. Ver [Figura 57](#) Tubo como Paso Superior para Fauna (PSF) para fauna menor con corte a

90ª en talud y **Figura 58** Tubo como Paso Superior de Fauna de talla chica con vallado de inducción.

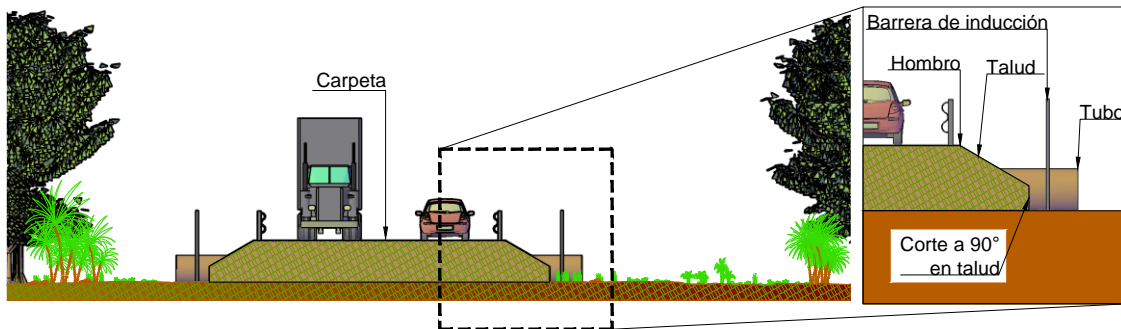


Figura 57 Tubo como Paso Superior para Fauna (PSF) para fauna menor con corte a 90ª en talud

Fuente: MIA – REGIONAL "RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM" EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

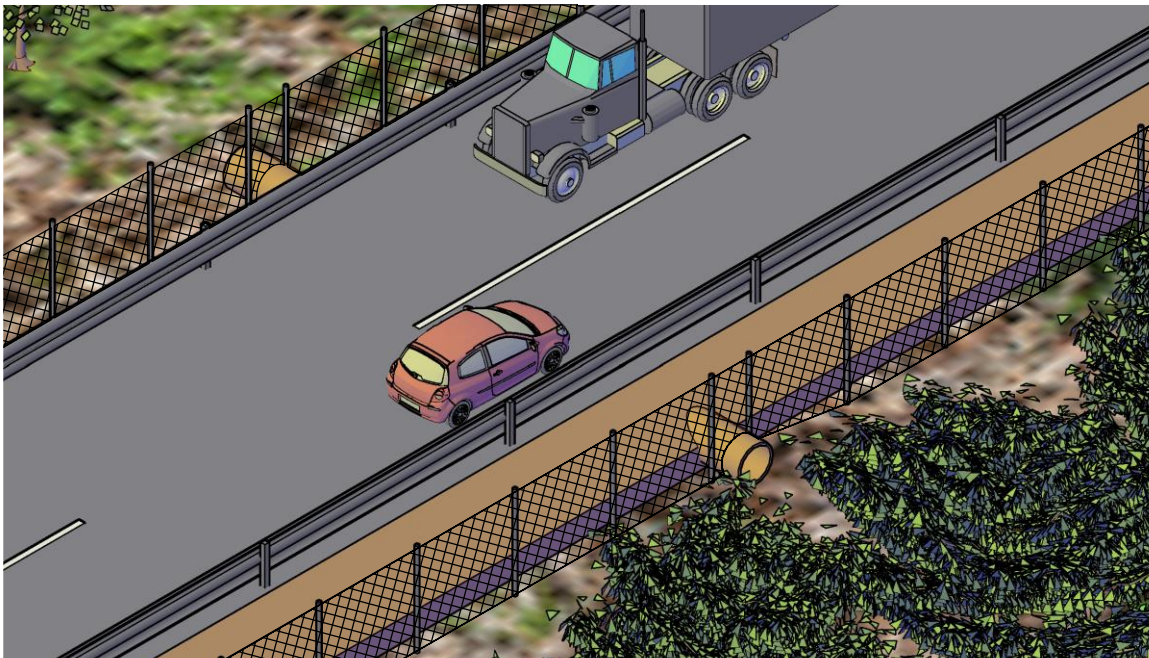


Figura 58 Tubo como Paso Superior de Fauna de talla chica con vallado de inducción

Fuente: MIA – REGIONAL "RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL-PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM" EN EL ESTADO DE QUINTARA ROO (Ref.29)

5.2 Caso 2 Autopista “Jala – Puerto Vallarta, tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – Entronque Libramiento Puerto Vallarta”

El proyecto carretero Jala – Puerto Vallarta, Libramiento Puerto Vallarta²⁹ “*cuya construcción actualmente se desarrolla a lo largo de una parte costera del Estado de Nayarit hasta la cercanía con Puerto Vallarta en el Estado de Jalisco, tiene una longitud aproximada de 108.241 km Este proyecto cruza por los municipios de Compostela y Bahía de Banderas en el Estado de Nayarit y por el municipio de Puerto Vallarta en el Estado de Jalisco. El proyecto está incluido en el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, como parte de la modernización estratégica de la red de carreteras*”.

El antecedente de este proyecto es que la actual carretera Federal No.200, Tepic-Puerto Vallarta era una de las pocas vías de acceso a la zona costera de Nayarit, y desde hacía décadas atrás había sido rebasada en la cantidad de vehículos para la que fue originalmente diseñada y construida por lo que se convirtió en una vialidad saturada de alta peligrosidad debido al riesgo por accidentes y disminución en su eficiencia, por esta razón, el proyecto constituyó una alternativa de solución para el desahogo del tránsito de bienes y personas a lo largo de la zona costera de Nayarit hasta Puerto Vallarta y en consecuencia para el desarrollo de la costa misma como destino turístico.

5.2.1 Características geométricas del proyecto

El Proyecto está conformado por una sección tipo A4, con una sección transversal de 21.0 m, alojando 4 carriles de circulación de 3.5 m cada uno, acotamientos laterales externos de 2.5 m e internos de 0.5 m y barrera central de 2.0 m el ancho de derecho de vía es de 60 m (ver **Figura 59** Secciones típicas del proyecto).

²⁹ Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras (Ref. 17)

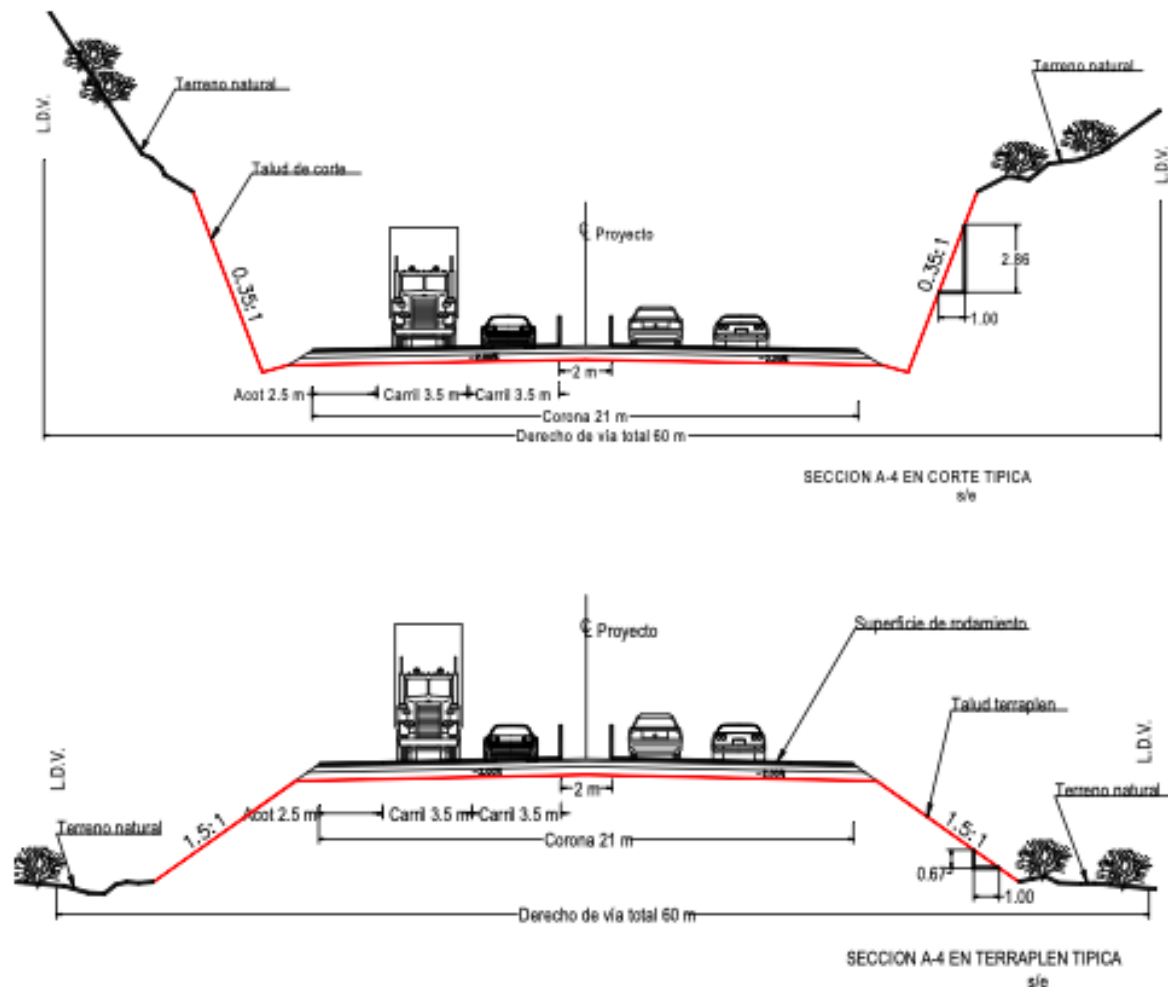


Figura 59 Secciones típicas del proyecto

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

5.2.2 Selección de la ruta del proyecto

Para seleccionar la mejor alternativa de ruta en su momento se llevaron a cabo varias discusiones con la participación de diversos organismos e instituciones como la SICT, DGIRA, CONANP y SEMARNAT todo ello con base en estudios técnicos de apoyo como el denominado "Elaboración de Estudios de Campo y Monitoreo para la Identificación de Corredores Biológicos del Jaguar y su Interacción con Cruces Carreteros; existentes y propuestos en la Región de Sierra Vallejo, Nayarit (incluido como un apéndice de la MIA REGIONAL).

"En este trabajo se identificaron los principales corredores de desplazamiento de jaguar dentro de las áreas prioritarias para la conservación del jaguar en el occidente de México

(de acuerdo con Nuñez, 2007), utilizando trampas cámara y modelación mediante un algoritmo de costo mínimo. Se identificó la distribución potencial de la riqueza de mamíferos en la zona de Sierra Vallejo, para considerar tanto a los jaguares como a sus presas, identificando dos zonas críticas por interacción de autopistas (existentes y proyectada) y ruta de desplazamiento de jaguares (ver capítulo de Impactos de este estudio): Zona Compostela-Las Varas y Zona San Francisco-Bucerías³⁰.

Una vez obtenidos los datos se pudo establecer la posibilidad de 3 rutas (ver **Figura 60** Rutas alternativas evaluadas mediante estudios técnicos (incluyendo análisis de fragmentación y efecto de bordes) y reuniones con autoridades) efectuando para cada una de ellas el análisis de fragmentación y efecto de borde con los criterios de Forman (Ref. 30). de estos análisis se desprendió que la sierra de Vallejo cobraba una gran importancia ambiental ya que además se encontraba decretada como Área Natural Protegida de tipo Reserva de la Biósfera por un decreto estatal.

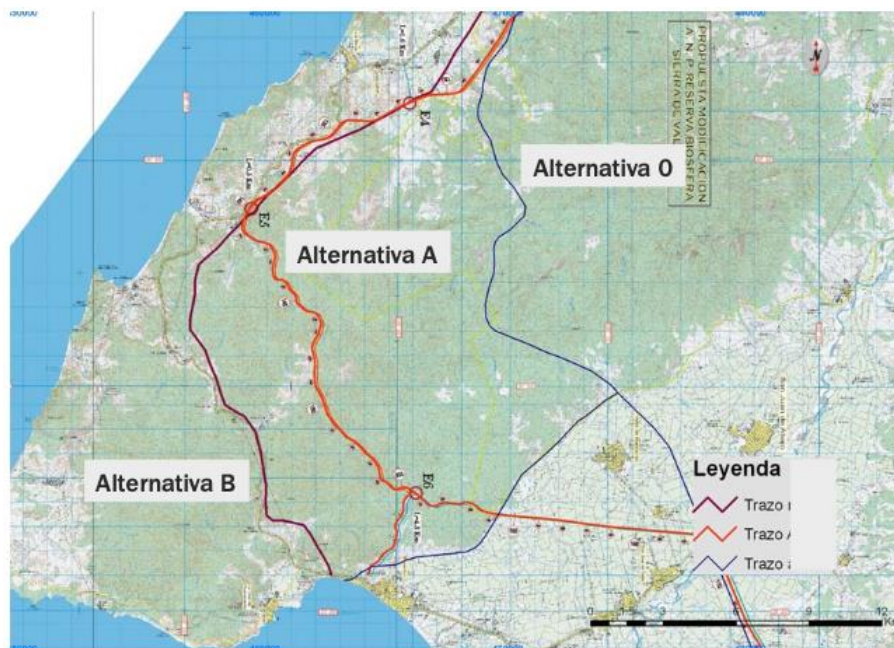


Figura 60 Rutas alternativas evaluadas mediante estudios técnicos (incluyendo análisis de fragmentación y efecto de bordes) y reuniones con autoridades

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

Finalmente se eligió la ruta más cercana a la costa para disminuir el impacto que sobre los corredores de jaguar tendría el Proyecto. También se optó por aproximar el trazo de la autopista hacia la costa de manera que la misma constituyera una barrera para contener el crecimiento de las localidades hacia la Sierra de Vallejo, de esta manera se podría lograr la protección del hábitat del jaguar.

³⁰ MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

5.2.3 Los corredores de jaguar en Nayarit

Por su ubicación geográfica, la zona de proyecto es el hogar de abundante flora y fauna, de ahí su alta biodiversidad. Mediante la instalación de cámaras trampa y recorridos para recabar evidencia se confirmó la presencia de jaguar y otros animales de gran importancia para su conservación en toda la región bajo estudio y se identificaron diferentes rutas denominadas “corredores de desplazamiento de jaguar” y su interacción con las carreteras y caminos existentes.

*“utilizando trampas cámara y modelación mediante un algoritmo de costo mínimo se identificó la distribución potencial de la riqueza de mamíferos en la zona de Sierra Vallejo, para considerar tanto a los jaguares como a sus presas, identificando dos zonas críticas por interacción de autopistas (existentes y proyectada) y ruta de desplazamiento de jaguares” (Ref. 30) (ver **Figura 61** Modelo 1 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit, **Figura 62** Modelo 2 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit y **Figura 63** Modelo 3 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit).*

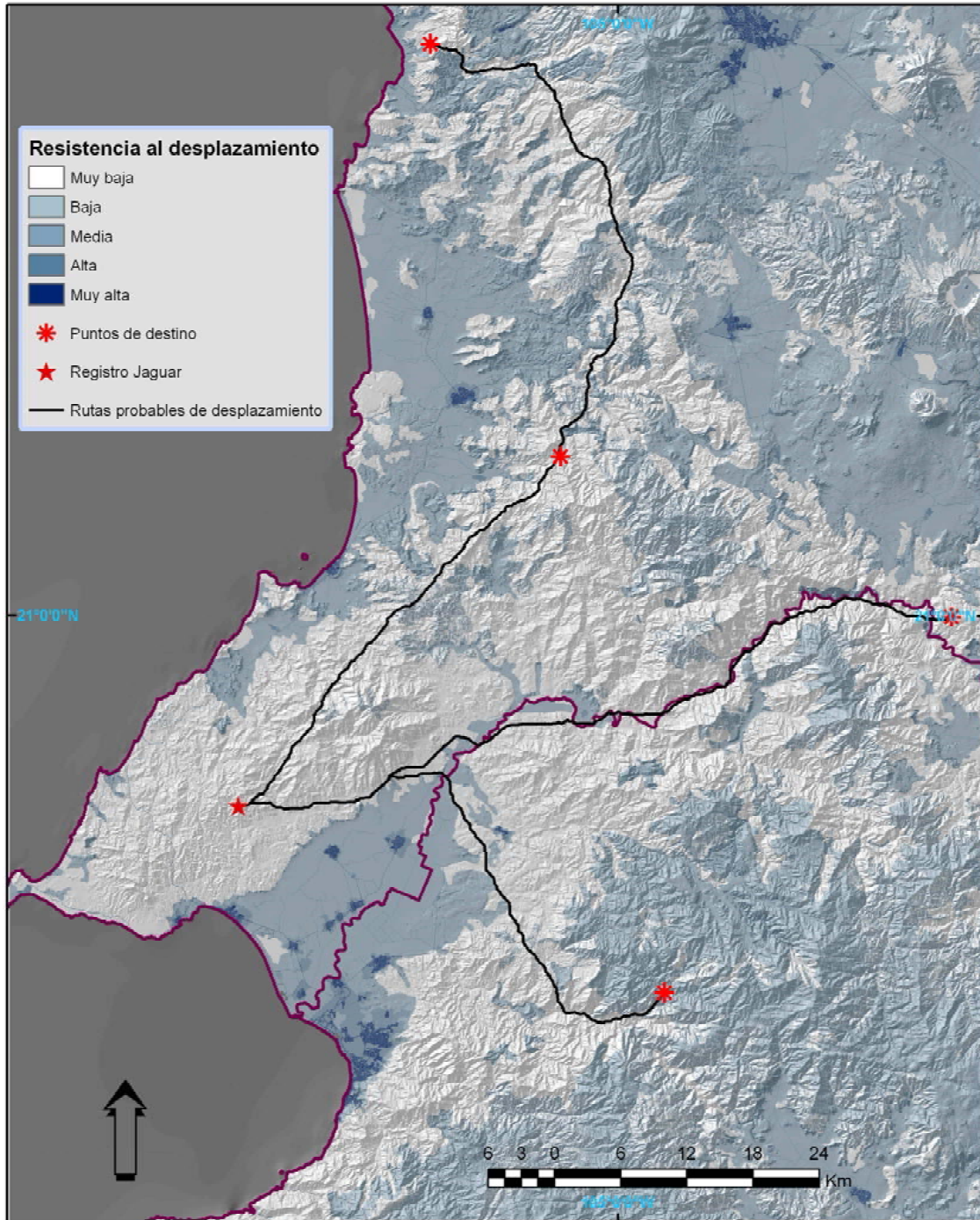


Figura 61 Modelo 1 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

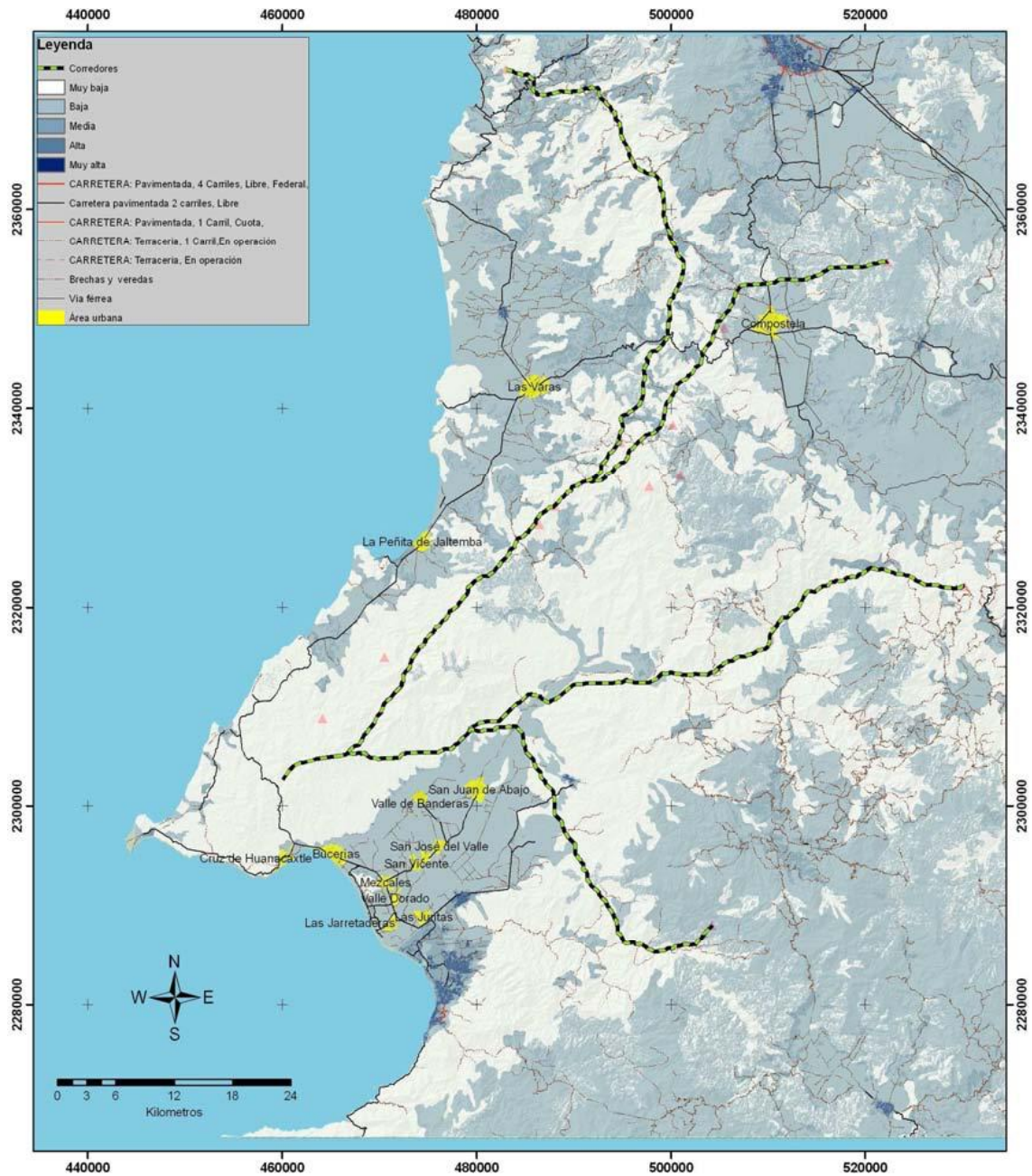


Figura 62 Modelo 2 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

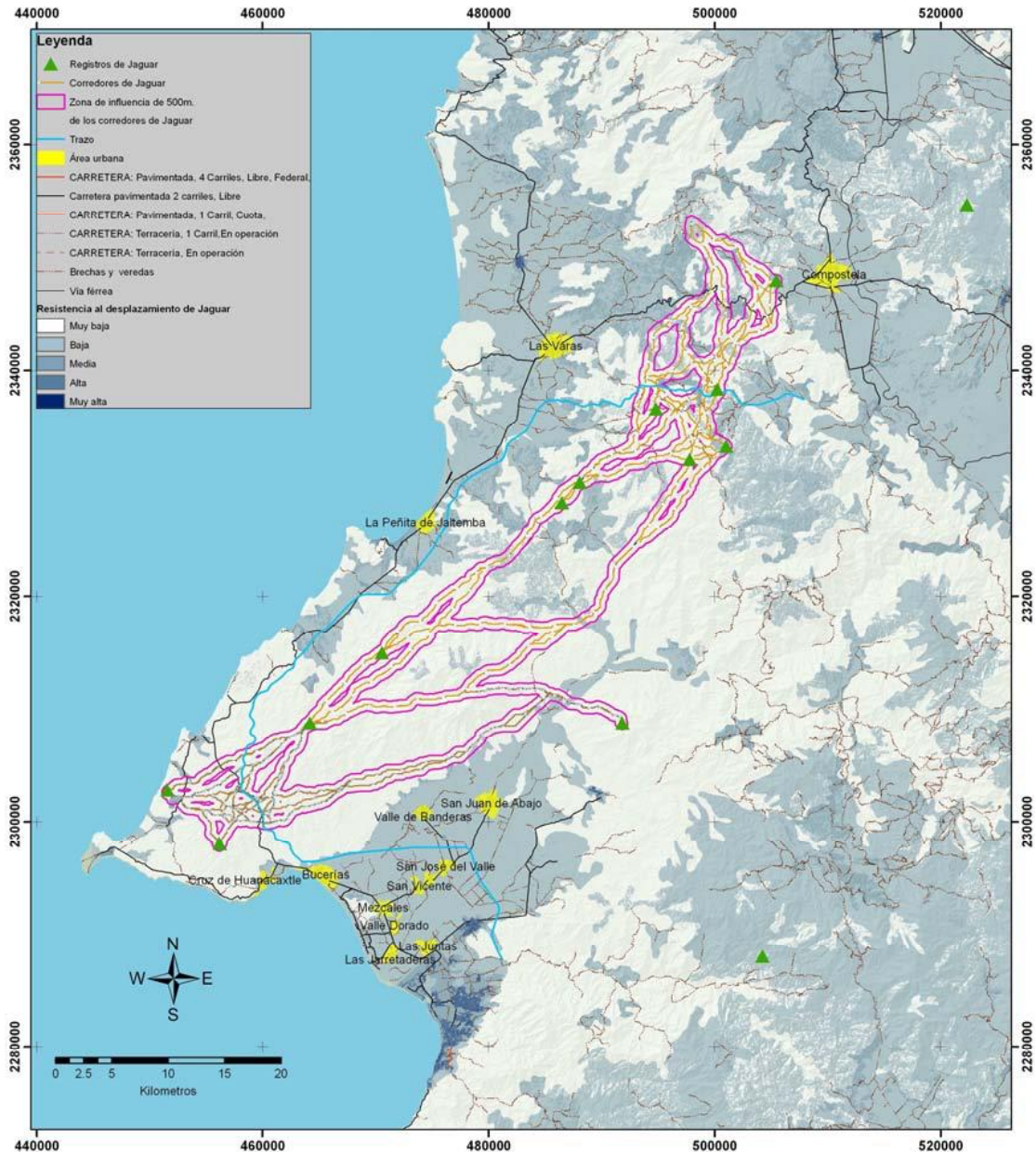


Figura 63 Modelo 3 de corredores potenciales de desplazamiento de jaguares en el sur de Nayarit

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

5.2.4 Criterio para la propuesta de túneles

Técnicamente, cuando el corte es excesivamente alto se sustituye por un túnel, la proporción entre alturas usualmente está por 1 a 10, y por ende el túnel produce menos material por compensar que el corte. Análogamente cuando se requiere un terraplén de gran altura se substituye por un puente. De acuerdo con este planteamiento, para el desarrollo del proyecto se propuso la construcción de un sistema combinado de puentes y túneles en virtud de que ésta solución es la que aporta las menores afectaciones al medio ambiente. Así, en lugares estratégicos donde la lógica económica hace pensar en la posibilidad de rellenar una barranca para salvar el claro y cumplir con los requerimientos geométricos de la rasante del proyecto, se propuso la construcción de un puente y, en los lugares donde por razones económicas debería practicarse el corte de alguna ladera se proyectó la construcción de un túnel. Como resultado de esta dinámica y contrastando la información de los corredores potenciales de jaguar con la trayectoria de la carretera federal 200 existente, así como con la ruta elegida para el proyecto, se llegó al establecimiento de dos zonas de cruce de relevante importancia, estas zonas se denominaron como Zona Norte y Zona Sur (ver **Figura 64** Delimitación de las zonas más relevantes de cruce del proyecto y la carretera existente con los corredores de los jaguares).



Figura 64 Delimitación de las zonas más relevantes de cruce del proyecto y la carretera existente con los corredores de los jaguares

Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

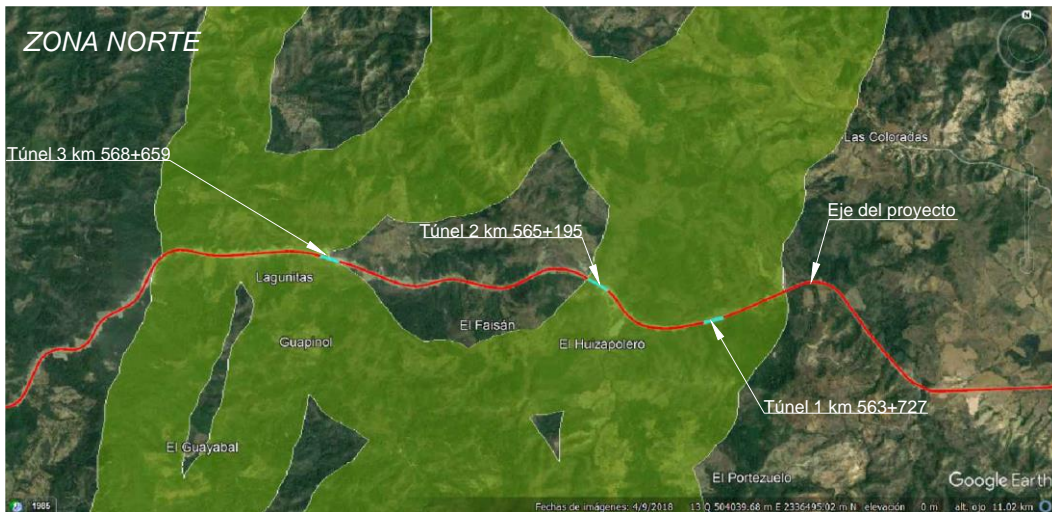


Figura 65 Zona norte del área delimitada como corredores de jaguar y el cruce del proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

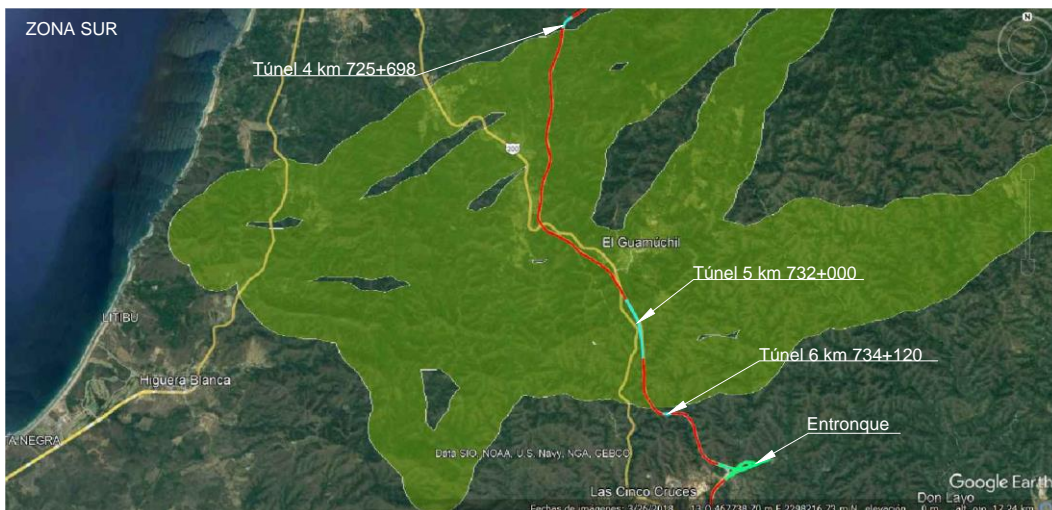


Figura 66 Zona sur del área delimitada como corredores de jaguar y cruce con la ruta del proyecto y la carretera federal 200

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

5.2.5 Propuestas de pasos para Jaguar

“Como compensación ambiental, la SICT consideró la construcción de pasos de fauna de diferentes tipos en puntos estratégicos para restituir los corredores de jaguar que hasta ese momento se habían fragmentado. La finalidad última era la de restituir en la medida de lo

posible los corredores de jaguar identificados previamente para lograr maximizar la conectividad entre las poblaciones de jaguar en la región de Sierra Vallejo y las poblaciones al sur de Sinaloa y de la zona norte de Jalisco (región de Chamela-Cuitzmala)” (Ref. 30).

Se planteó la construcción de una gran cantidad de pasos para Jaguar que de acuerdo al modelo de desplazamiento obtenido en estudios previos efectuados por el equipo de biólogos optimizó el diseño y ubicación de manera integral, es decir, incorporando pasos para fauna para la nueva autopista y para la carretera federal existente.

Tomando en cuenta la rasante del proyecto fue posible ubicar la pertinencia o no de proponer la construcción de los túneles, en este sentido, el conocimiento del proyecto geométrico por parte del ingeniero civil es fundamental toda vez que su trabajo permite relacionar las propuestas del equipo de medio ambiente con la realidad constructiva, ejemplo de ello fue plantear el perfil de la zona sur donde se estableció gráficamente la conveniencia de construir túneles (ver **Figura 67**).

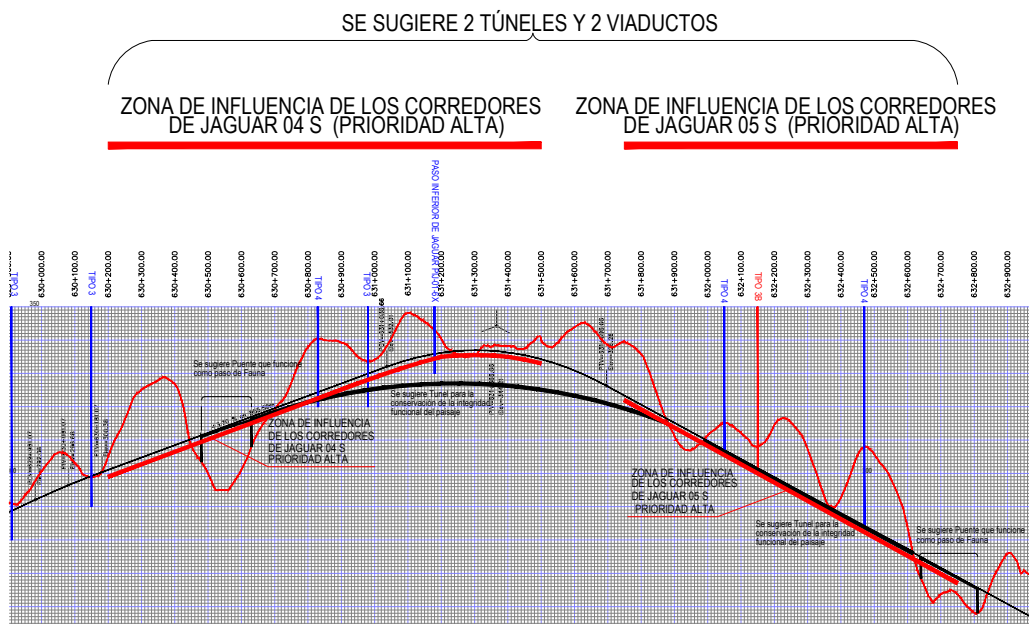


Figura 67 Representación gráfica del perfil del Proyecto para justificar la necesidad en la construcción de los túneles.

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

Una vez establecidos los puntos más importantes de cruce del proyecto con los corredores potenciales de jaguares se realizaron una serie de propuestas concretas para la ubicación y tipo de paso para fauna específico para cada caso (ver **Figura 68** Ubicación específica de los pasos para jaguar propuestos y túneles del Proyecto).

“A la luz de la evidencia aportada inicial y preliminarmente en cuanto a la ubicación de medidas de mitigación convencionales (únicamente pasos de fauna) propuesta en una reunión de trabajo, la SICT estimó conveniente modificar el proyecto original para colocar obras mayores como túneles y puentes; particularmente en los tramos críticos, donde la probabilidad de cruce de jaguares resulta muy alta.

Estas obras reducen significativamente el impacto no solo sobre los jaguares, sino en general, sobre la integridad estructural y funcional de los elementos del paisaje, llámese cauces hídricos, topoformas y vegetación, ya que su construcción implica afectaciones menores al ambiente, y su operación prácticamente no representa obstrucciones para el flujo de animales” (Ref. 30).

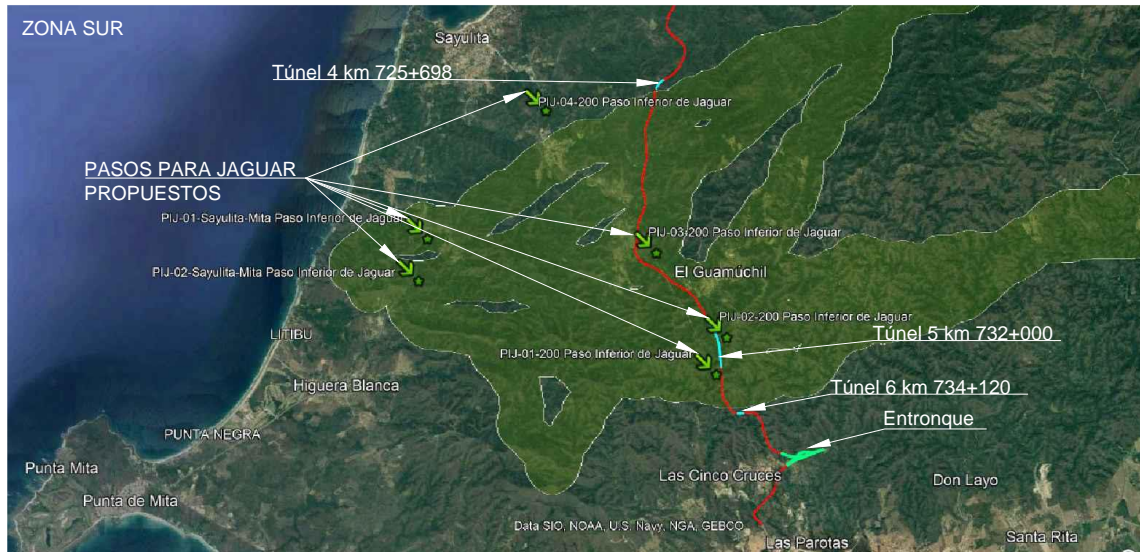


Figura 68 Ubicación específica de los pasos para jaguar propuestos y túneles del Proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

Como resultado del análisis de la información se logró establecer la combinación de varias rutas muy específicas donde la probabilidad de cruce de los jaguares con respecto al proyecto y a la carretera federal 200 existente era alta por ello se procedió a realizar un planteamiento de los tipos de pasos para fauna y las secciones de cruce mostradas a continuación.

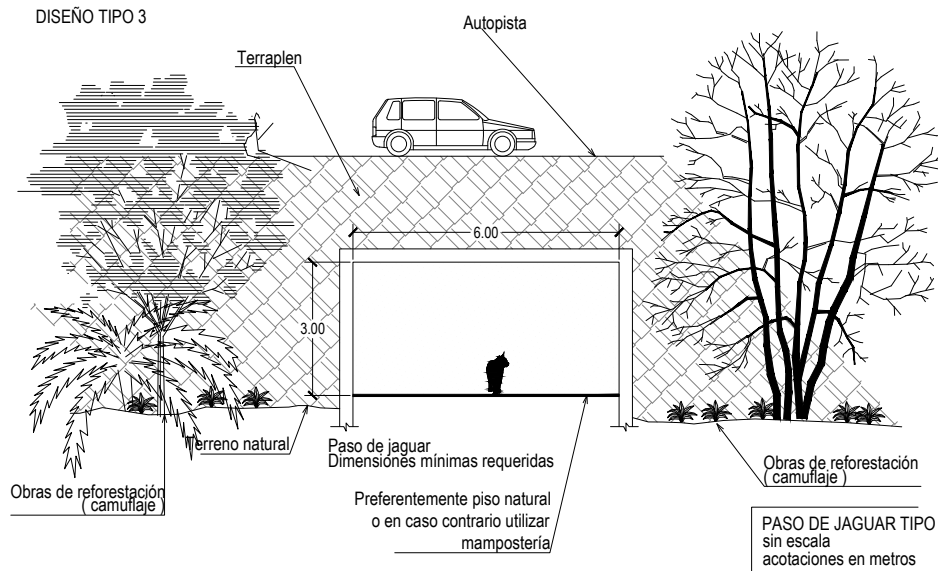


Figura 69 Paso superior de Jaguar tipo (PSJ)

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

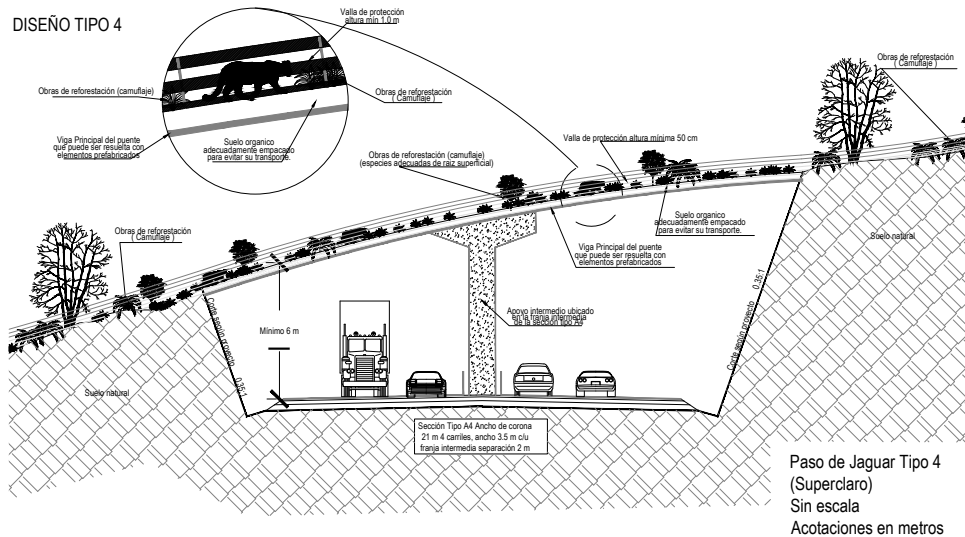


Figura 70 Paso Inferior de Jaguar PIJ (Superclaro)

Fuente: MIA REGIONAL "CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C. Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km en los estados de Nayarit y Jalisco" (Ref. 30)

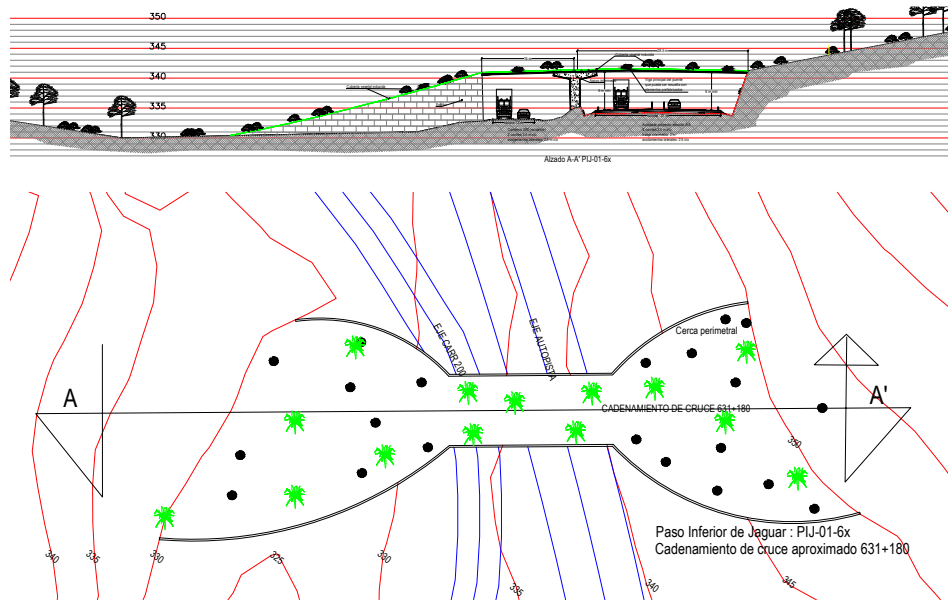


Figura 71 Paso inferior de Jaguar – Planta y Sección de cruce en el proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

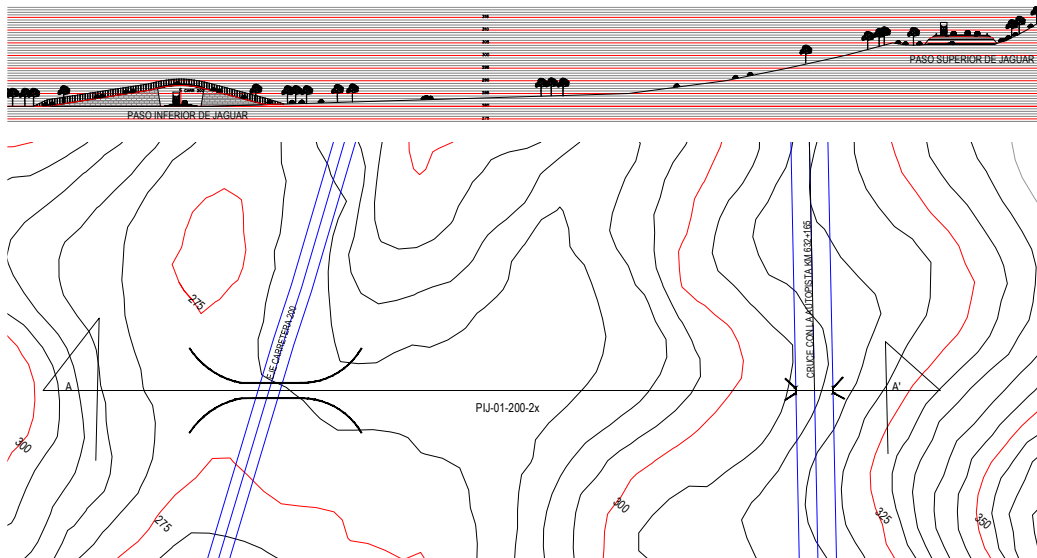


Figura 72 Planta y sección de cruce para Paso inferior de jaguar (PIJ) en carretera 200 y paso superior de jaguar (PSF) en eje de proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

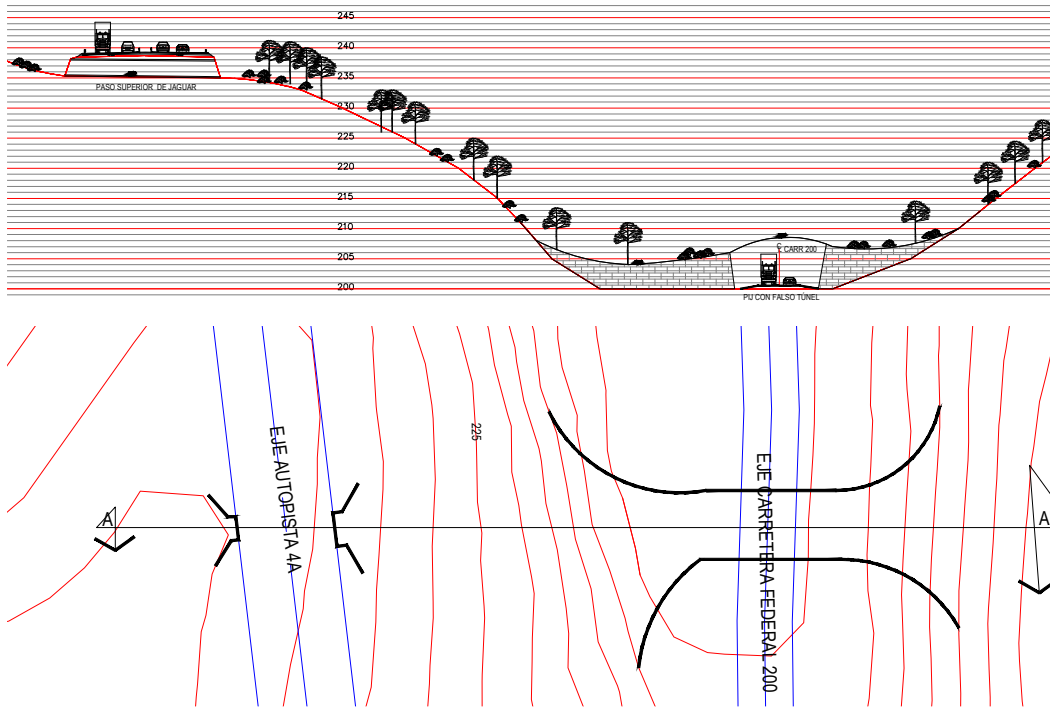


Figura 73 Planta y sección de cruce para paso superior de jaguar (PSF) en eje de proyecto y Paso inferior de jaguar (PIJ) en carreter 200

Fuente: Elaboración propia con base en información de la MIA REGIONAL (Ref. 30)

5.3 Caso 3 “Manual de diseño de pasos para Fauna silvestre en carreteras”

El Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras se incluye como parte de las iniciativas en las que México contribuye en la planificación de las vías terrestres con base en el desarrollo ambiental sostenible, además del desarrollo social y económico, por lo anterior se destaca que el Manual *“hace mayor hincapié en las medidas de prevención de atropellos que en la mitigación de daños”*.

Es importante mencionar que este manual converge con los objetivos de desarrollo sostenible planteados en la Agenda 2030 de la ONU, particularmente con el número 3 “Salud y Bienestar”, el 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” y 15 “Vida de Ecosistemas Terrestres”. El documento se encuentra disponible para su consulta y descarga en la página oficial de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) ([Ref. 1](#))

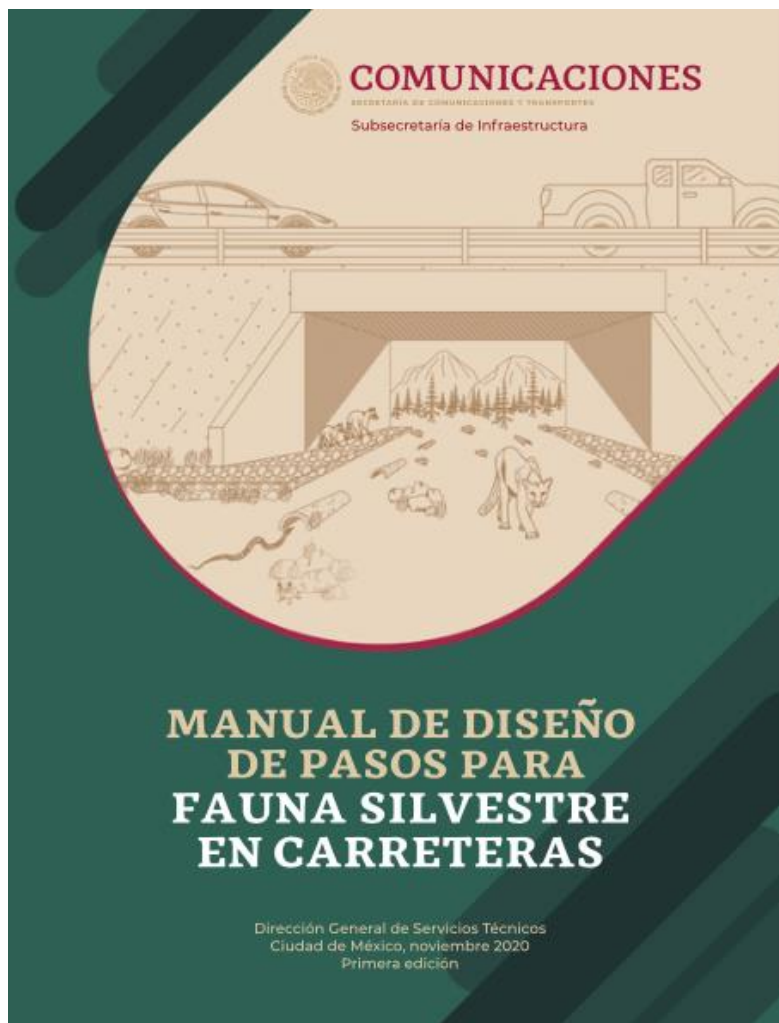


Figura 74 Portada del Manual de Diseño de pasos para Fauna Silvestre en Carreteras

Fuente: “Manual de Diseño de pasos para Fauna Silvestre en Carreteras” (Ref.1)

Ante la necesidad de contar con una herramienta de apoyo para los ingenieros diseñadores de proyectos de vías terrestres como carreteras y ferrocarriles se elaboró por parte de la empresa Grupo SELOME S.A. el Manual de Diseño de Pasos Para Fauna Silvestre en Carreteras con la participación de un equipo multidisciplinario conformado por Biólogos, Cartógrafos y un Ingeniero Civil. A lo largo de más de una década de experiencias en cuanto a la elaboración de propuestas de pasos para fauna como parte de las medidas de mitigación asociadas a múltiples Manifestaciones de Impacto Ambiental en carreteras, el equipo de trabajo fue convocado a través de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT para reunir y plasmar la experiencia desarrollada en un documento de carácter consultivo que permitiera mejorar la comunicación de los objetivos y necesidades de los equipos de medio ambiente a los ingenieros diseñadores de proyectos carreteros y ferroviarios en un lenguaje técnico que permitiera vincular cada una de las posibles soluciones al problema del diseño de pasos para fauna silvestre con la realidad constructiva de un proyecto de vías terrestres.

5.3.1 Estructura del Manual de Diseño de Pasos para Fauna Silvestre en Carreteras

El Manual está compuesto por 9 capítulos:

- Capítulo 1 Metodología para la implementación de pasos para fauna silvestre
- Capítulo 2 Planificación
- Capítulo 3 Ubicación estratégica
- Capítulo 4 Tipos de pasos para fauna silvestre
- Capítulo 5 Diseño
- Capítulo 6 Señalización vial
- Capítulo 7 Monitoreo de pasos para fauna
- Capítulo 8 Conservación de pasos para fauna silvestre
- Capítulo 9 Desarrollo de un proyecto ejecutivo de pasos para fauna silvestre

La participación directa del autor de esta tesis ocurrió de forma directa en el Capítulo 4 donde, en colaboración directa con el equipo de biología, se desarrollaron las características principales de 8 esquemas básicos de pasos para fauna silvestre así como las obras complementarias asociadas a los pasos para fauna las cuales facilitan el funcionamiento integral de los pasos, en el Capítulo 5 se establecieron las dimensiones recomendadas por el equipo de medio ambiente y se agregaron los detalles específicos mediante esquemas con especificaciones sugeridas para el mejor funcionamiento de los pasos. En el capítulo 6 se colaboró en la propuesta para nuevos pictogramas que permitieran agregar señales preventivas específicas de acuerdo con cada especie particular incorporando los nuevos pictogramas a la señalización reglamentaria de las carreteras mexicanas. En el capítulo 8 se desarrolló la vinculación del tema de conservación de los pasos para fauna con relación a las actividades del mantenimiento y conservación de la infraestructura carretera de acuerdo con los parámetros establecidos por la SICT. Además

de lo anterior la elaboración de la portada y todas las figuras y esquemas presentes en el Manual corrió a cargo del autor de este trabajo.

5.3.2 Tipos de pasos para fauna establecidos en el Manual de diseño

Los 8 tipos de pasos para fauna planteados en el Manual son los ya mencionados en el apartado 4.6, a saber:

- 1) Paso Inferior para Fauna (PIFA).
- 2) Paso Superior para Fauna (PSFA).
- 3) Obra de drenaje adaptada para función mixta (paso de agua y paso para fauna).
- 4) Paso para fauna embebido en la infraestructura lineal.
- 5) Paso aéreo para fauna arborícola.
- 6) Obra para el paso y protección de fauna voladora.
- 7) Paso temporal para invertebrados migratorios.
- 8) Paso para fauna acuática.

Con fines del desarrollo del Manual se elaboraron esquemas a manera de planos orientativos para cada tipo de paso, en ellos se muestra la planta y el alzado con especificaciones puntuales con base en las recomendaciones desarrolladas en capítulos anteriores.

5.3.3 Desarrollo de los planos orientativos de los pasos para fauna contenidos en el Manual

A continuación se presentan los planos orientativos contenidos en el manual referidos a cada tipo de paso y se mencionan los criterios tomados en cuenta durante el diseño.

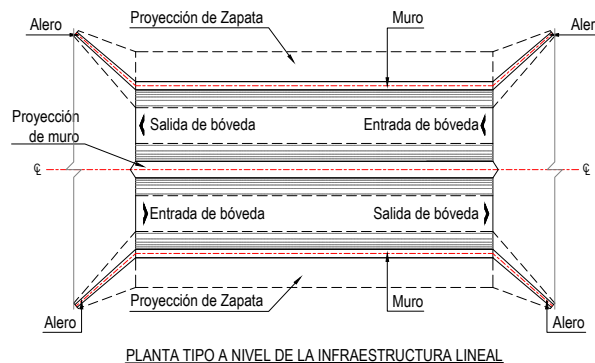
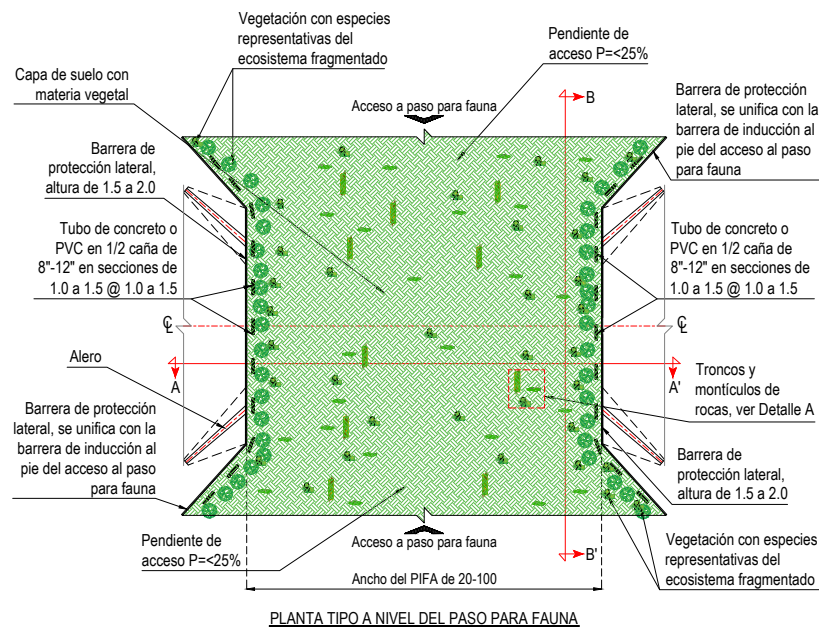
5.3.3.1 Paso Inferior para Fauna (PIFA)

Este tipo de pasos es requerido cuando se trata de favorecer la movilidad de especies de talla grande como mamíferos, ungulados y grandes carnívoros (jaguar, oso negro, venado cola blanca, borrego cimarrón, bisonte americano, etc)

Criterios para el diseño de la propuesta:

- Para el desarrollo de la propuesta se adaptó el modelo convencional para puentes a base de bóvedas y losas de concreto.
- Se hace hincapié en que las cargas vivas de diseño serán únicamente las calculadas tomando en cuenta el máximo número de individuos cruzando simultáneamente por el PIFA (superclaro).

- Resalta la necesidad de cuidar diseño del drenaje de la súper-estructura subyacente al suelo orgánico para evitar retener más agua de la necesaria para sustentar la vegetación inducida en la parte más alta.
- El diseño del PIFA se deberá sujetar a las indicaciones de las normas vigentes en cuanto a revisión por sismo y viento así como los requisitos de la N-PRY—CAR-6-01-001/01 “Proyecto de puentes y estructuras”.



Acotaciones en metros
 Dibujos fuera de escala

Figura 75 PIFA de Bóveda (plantas a nivel de la carretera y a nivel del paso para fauna)

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

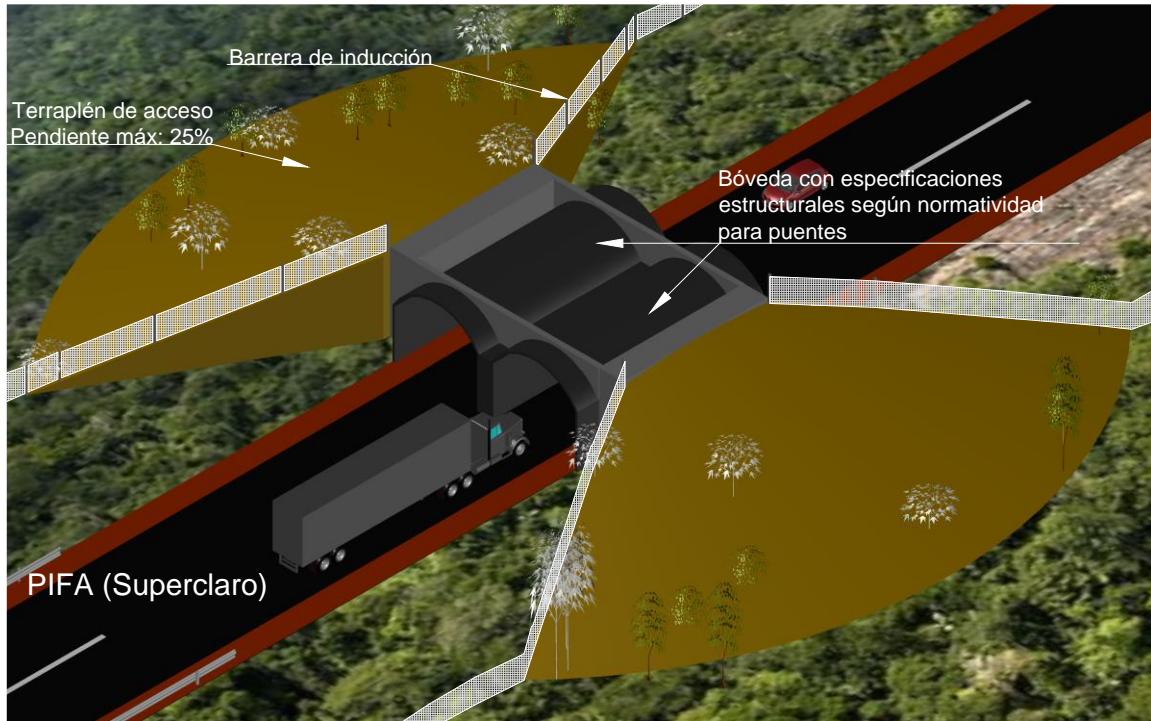
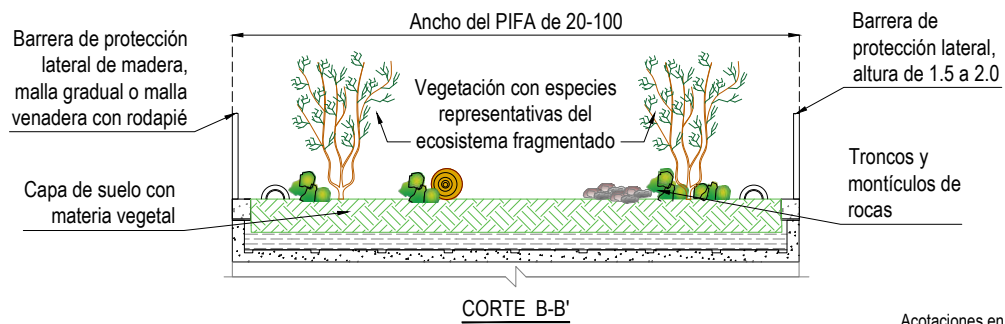
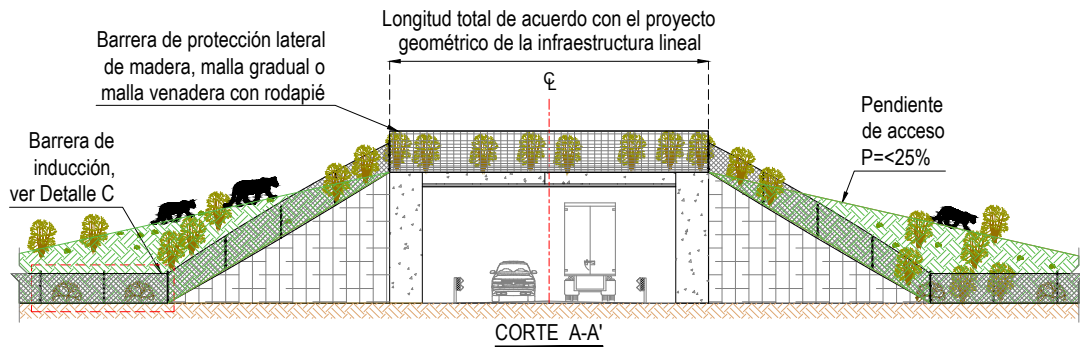
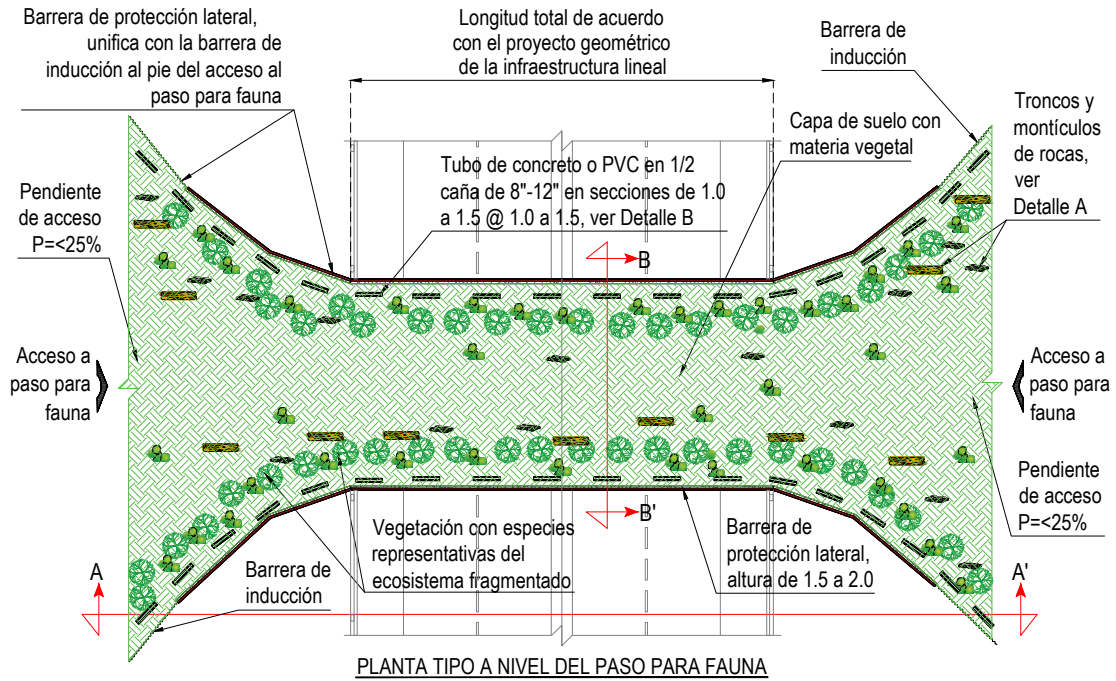


Figura 76 Estructura de bóveda de soporte para el PIFA

Fuente: Elaboración propia con base en el Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)



Acotaciones en metros
 Dibujos fuera de escala

Figura 77 PIFA de losa (planta a nivel de la carretera y cortes)

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.2 Paso superior para fauna PSFA

En este tipo de pasos se incluyen todas aquellas estructuras que cruzan por debajo de la rasante de la carretera o vía férrea. Estas estructuras se consideran nuevas pues corresponden a proyectos en construcción.

Criterios para el diseño de la propuesta:

- Se tomo en cuenta la relación entre ancho y alto de la estructura establecida por el equipo de biólogos.
- En este tipo de pasos se debe contar con una altura de rasante de al menos 4 metros por encima del terreno natural para permitir la mayor altura posible en el paso.
- Preferentemente se deberá contar con suelo natural en la base para favorecer el cruce de la fauna debido a que los materiales sintéticos como el concreto liso o rugoso generan desconfianza al ser pisados por algunas especies.

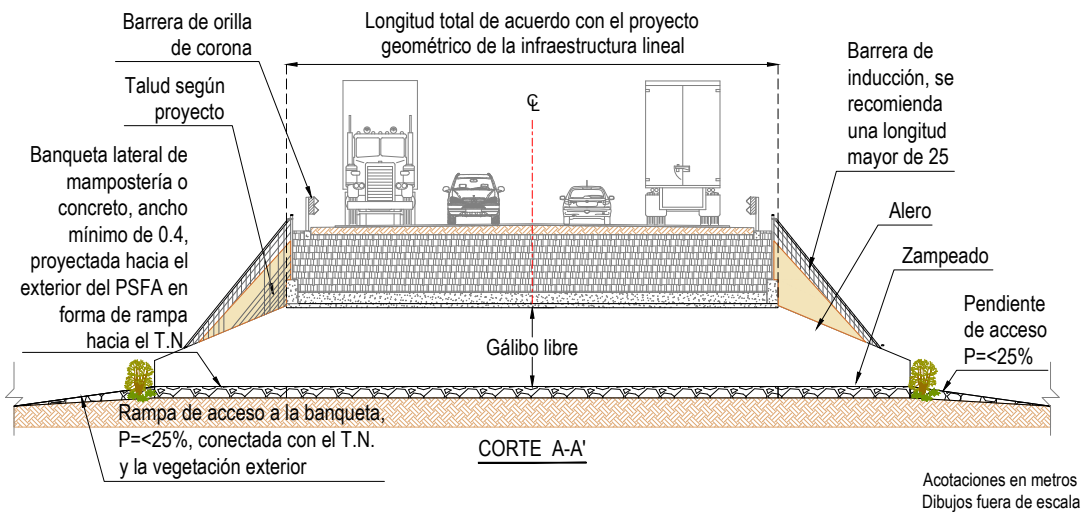
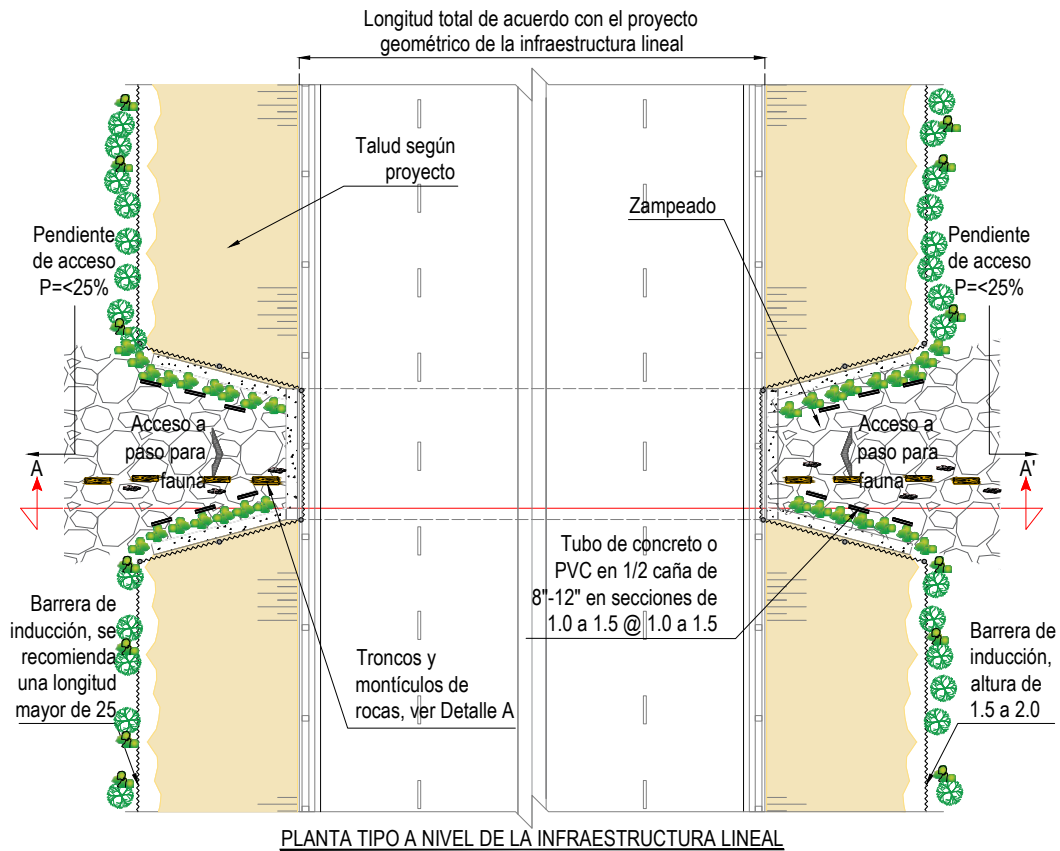


Figura 78 Planta y corte de PSFA mediante cajón de concreto

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

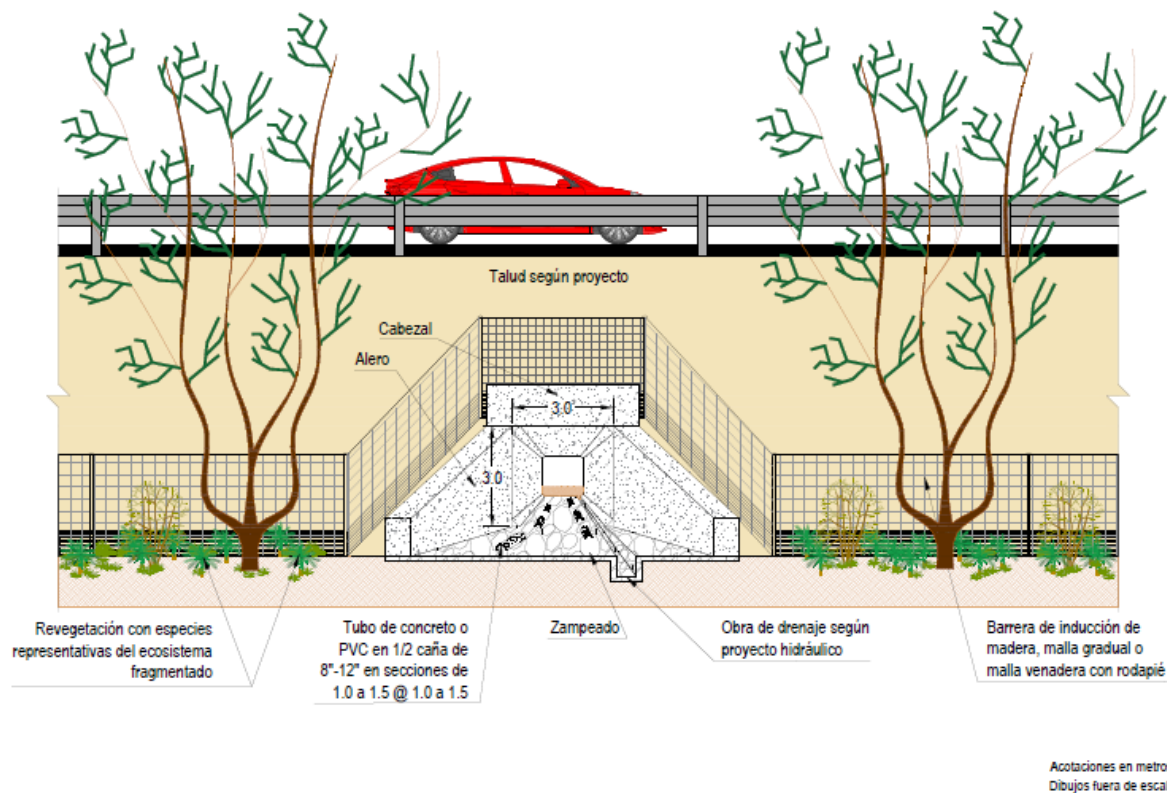


Figura 79 Alzado de un PSFA de 3 x 3 m con obra de drenaje

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.3 Obra de drenaje adaptada para función mixta (paso de agua y paso para fauna)

Criterios para el diseño de la propuesta

- Cuando se realizan modificaciones a las carreteras existentes como ampliación de su sección transversal o rectificación del trazo es posible aprovechar las obras de drenaje existentes para asignarles una función mixta, es decir, que su funcionamiento permita usarlas para el drenaje de los escurrimientos superficiales y como paso para fauna.
- En la mayoría de los casos es posible agregar algunos elementos como banquetas que permitan el paso por encima del NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias) y también se pueden agregar repisas de madera para favorecer el paso de especies pequeñas
- Al ocupar una parte del área hidráulica de diseño de la obra de drenaje es posible realizar una compensación de dicha área mediante una excavación o bien ensanchando la obra de drenaje en cuyo caso se deberá modificar dicha alcantarilla a todo lo ancho de la carretera.

Se realizó un plano orientativo para la descripción de los detalles y modificaciones propuestas anteriormente.

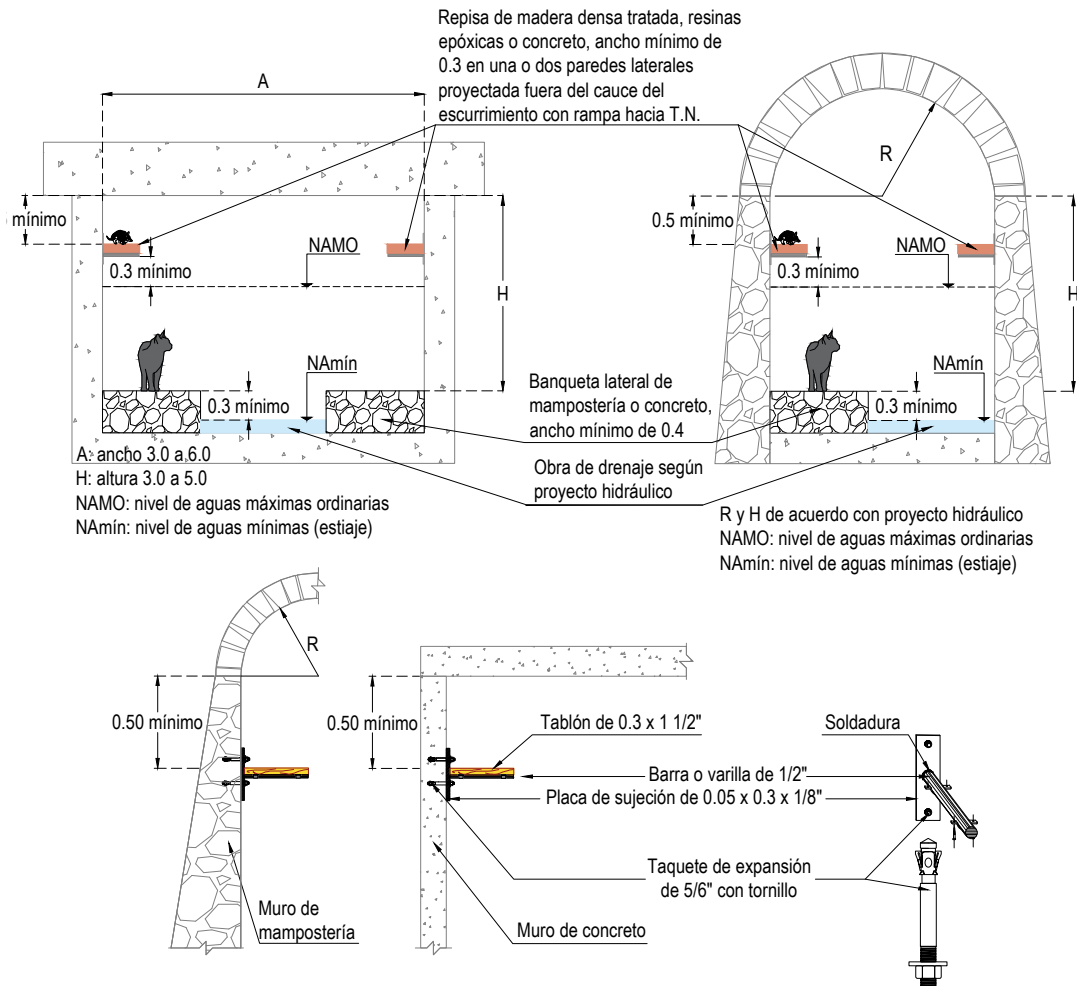


Figura 80 Alcantarilla modificada como PFSA y detalles

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

En la propuesta de modificación se analizó la necesidad de utilizar el paso para fauna modificado aún en tiempos de avenidas por lo cual se propuso la colocación de repisas laterales en la parte superior de los muros calculando su altura por encima del NAMO. Las repisas serían instaladas sobre una barra o varilla soldada a una placa de sujeción la que a su vez estaría fijada al muro mediante taquetes de expansión como puede verse en la **Figura 80**.

A continuación, se presenta el plano orientativo generado por la propuesta

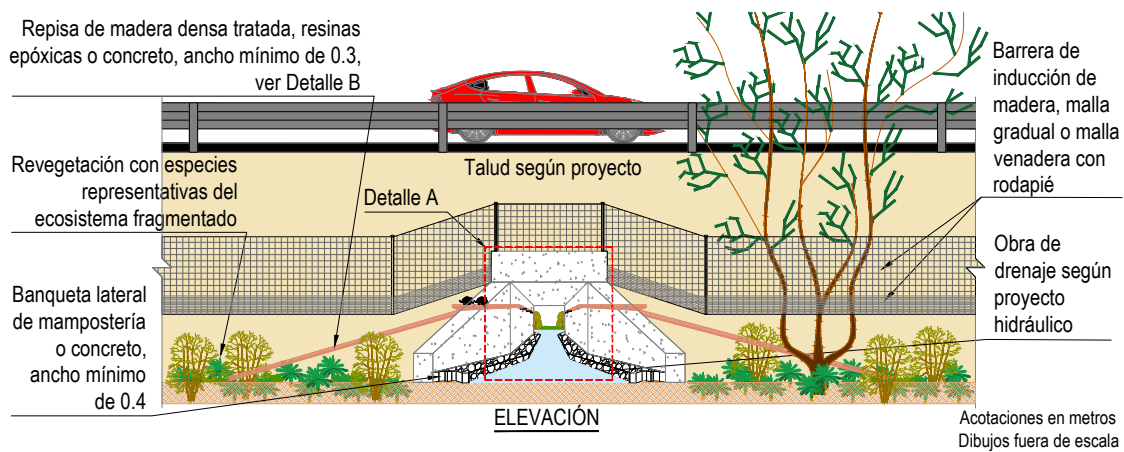
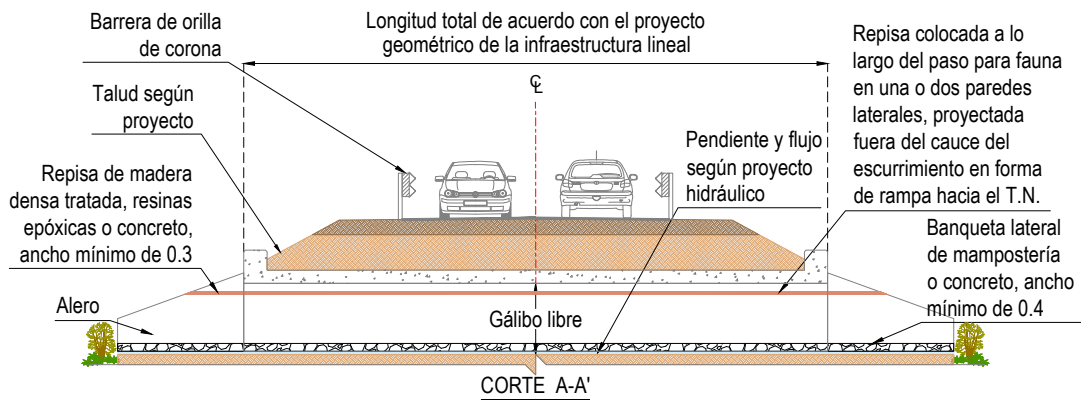
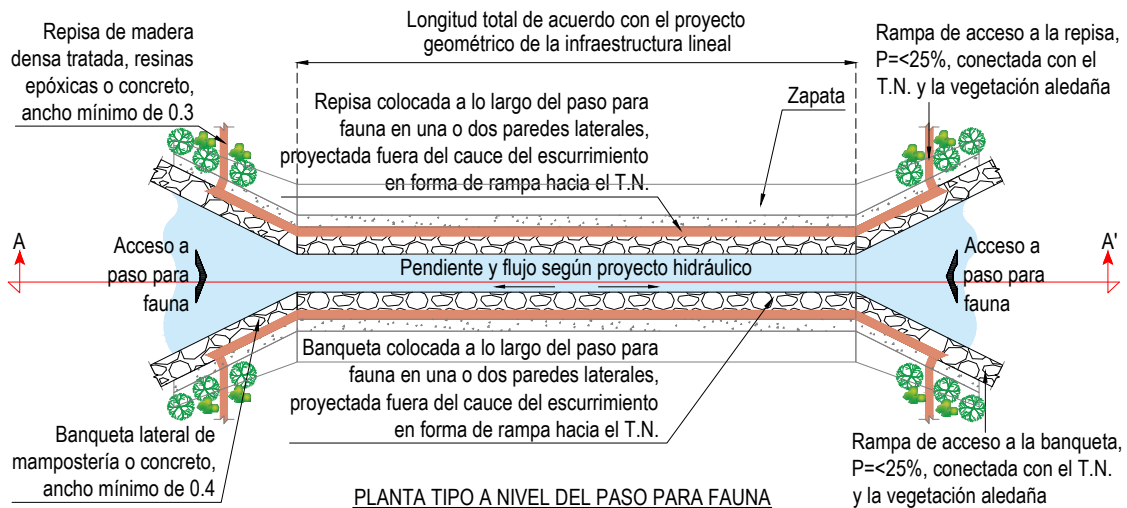


Figura 81 Planta y cortes de una alcantarilla modificada para función mixta

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

Es claro que el uso de elementos prefabricados adaptándolos como pasos para fauna permite reducir tiempos de construcción y en algunos casos el costo, no obstante, por ser de dimensiones preestablecidas no siempre es posible su adaptación pues las dimensiones más convenientes son determinadas por el equipo de biólogos de acuerdo con las necesidades de las especies que se quiere proteger. En el Manual se presenta la alternativa del uso de cajones prefabricados de concreto, aunque como se sabe, la experiencia obtenida a lo largo del tiempo demostró que los animales silvestres muestran desconfianza al pisar suelo no natural como en el caso del concreto que es un material artificial.

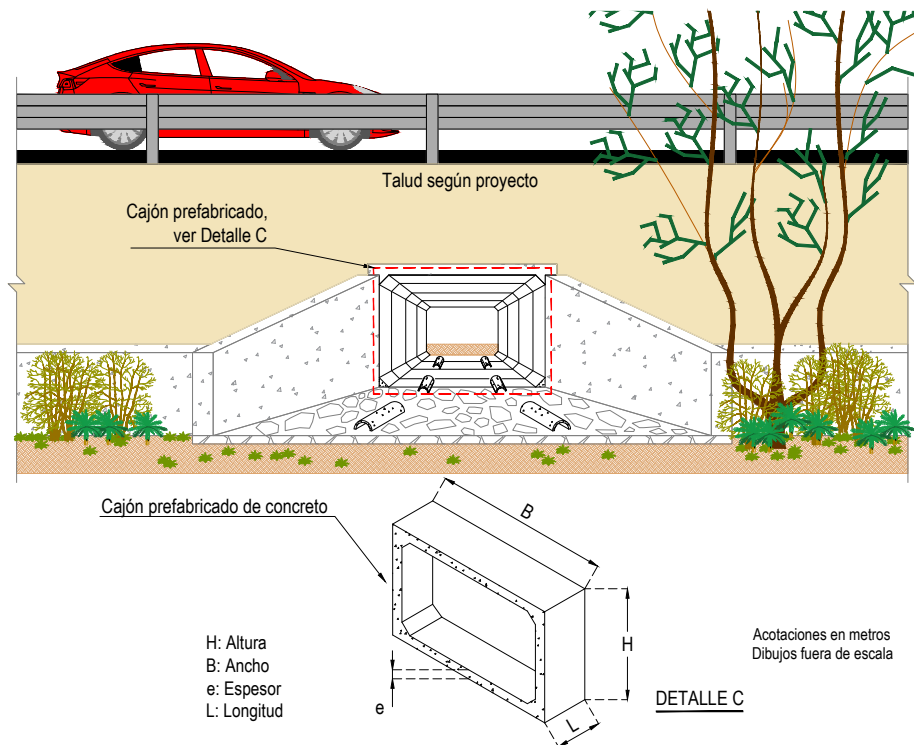


Figura 82 Cajón prefabricado como obra mixta (drenaje y PSFA)

Fuente: Modificado a partir del Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.4 Propuesta alternativa de cajón prefabricado para uso mixto

Por lo anterior se presenta una propuesta de paso prefabricado que podría producirse exclusivamente como paso para fauna de uso mixto eliminando el piso y compensando la estructura en términos de rigidez con ménsulas laterales que permitan mantener la función estructural de los muros laterales.

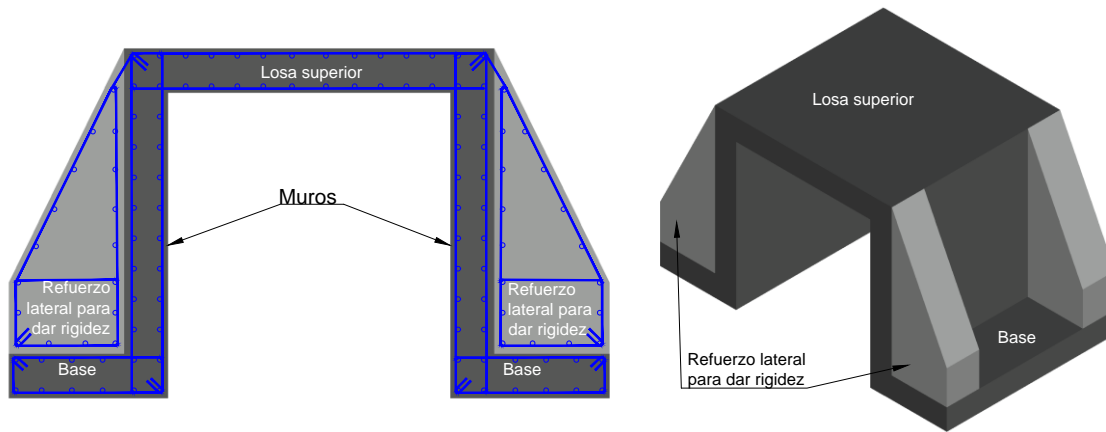


Figura 83 Propuesta de prefabricado como obra mixta (drenaje y PSFA)

Fuente: Modificado a partir del Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

Esta propuesta también permitiría construirse por módulos quedando como se muestra en la .

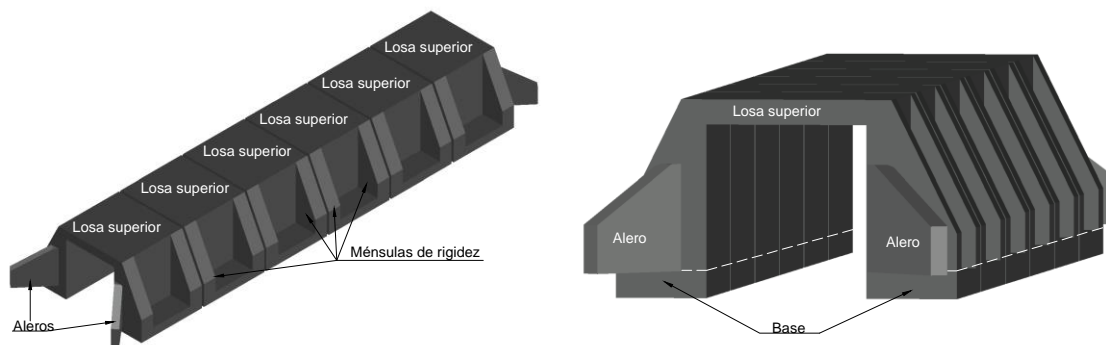


Figura 84 Vistas de propuesta de prefabricado como obra mixta (drenaje y PSFA)

Fuente: Modificado a partir del Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.5 Paso para fauna embebido en la infraestructura lineal

Este tipo de paso es recomendado para reptiles y especies pequeñas principalmente aquellas que migren hacia cuerpos de agua, el uso es muy común en zonas costeras debido a que las carreteras son construidas a lo largo de la costa interrumpiendo el paso de especies que por motivos de reproducción principalmente se desplazan del área continental hacia el mar o desde cuerpos de agua hacia el mar y viceversa como tortugas y crustáceos.

Criterios para el diseño de la propuesta:

- El requerimiento principal fue la necesidad de una estructura que de dimensiones pequeñas que permitiera ser adosada al cuerpo de la carretera, es decir, que la diferencia de nivel de la rasante del proyecto con respecto al nivel del terreno natural fuera de alrededor de 1 metro.
- Se requería que la estructura permitiera el paso de luz y humedad a lo largo de todo el paso.
- En el caso de las barreras de protección se requirió que éstas contaran con un borde superior curvo con objeto de contener a serpientes.

Se presenta a continuación el plano orientativo elaborado para el Manual.

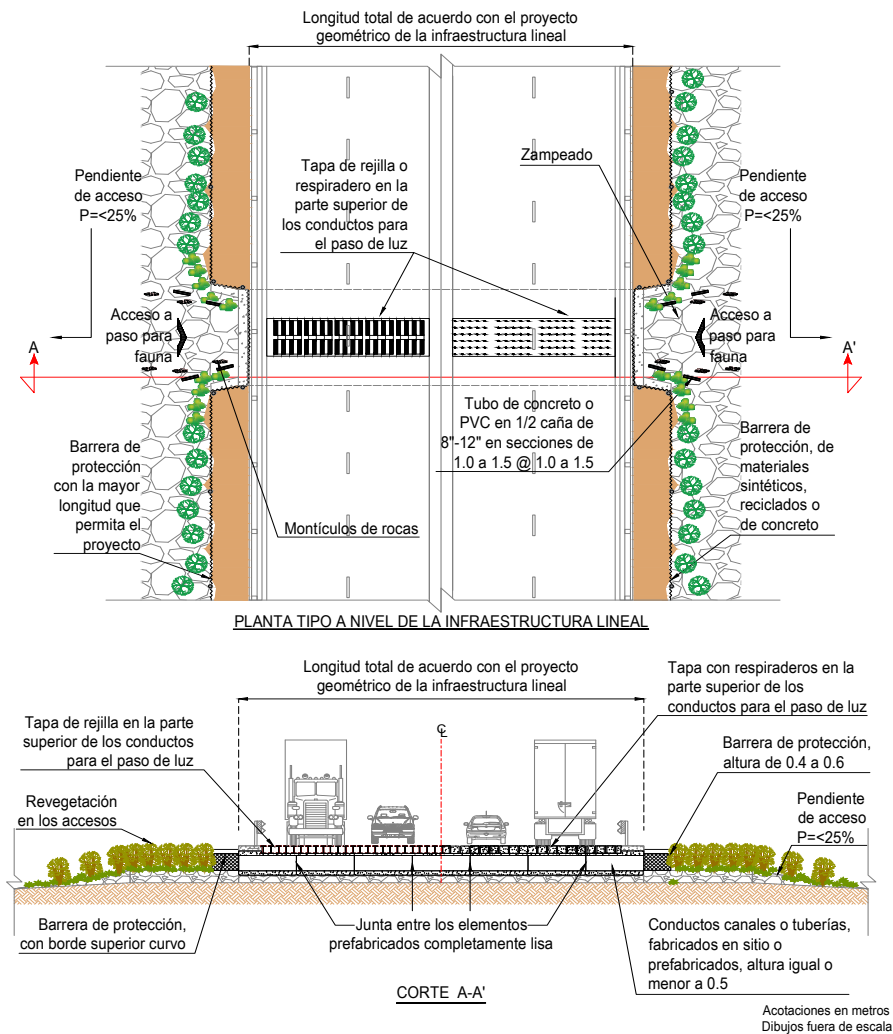


Figura 85 Planta tipo y corte A-A' de paso para fauna embebido en la infraestructura lineal mediante cajón prefabricado.

Fuente: Modificado a partir del Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

Los requerimientos que este tipo de estructuras generó quedaron plasmados en la siguiente figura como parte de los planos orientativos elaborados para el Manual.

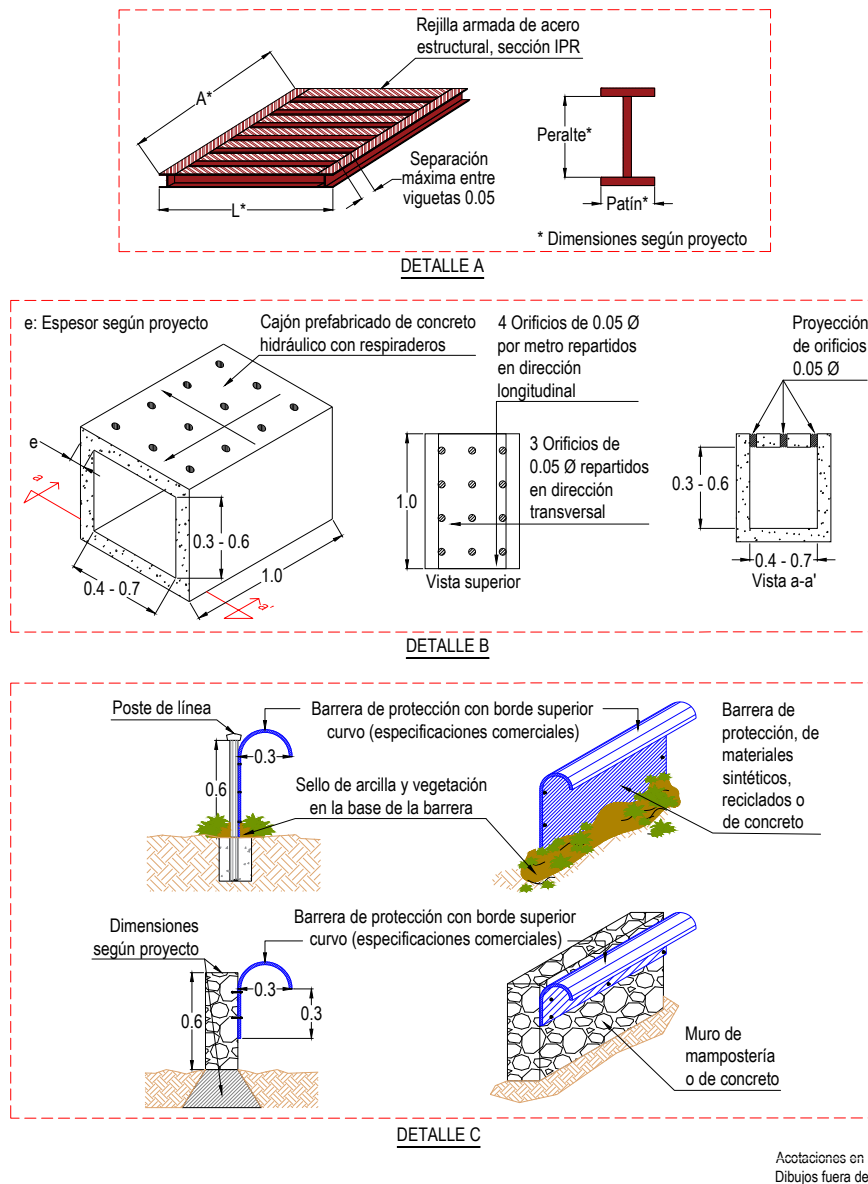


Figura 86 Detalles de paso para fauna embebido en la infraestructura lineal mediante cajón prefabricado.

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

En el caso de las barreras de inducción con borde superior curvo cabe mencionar que esto podría representar una oportunidad para el aprovechamiento de materiales reciclados pues estos elementos podrían elaborarse a base de plástico reciclado, por ejemplo.

5.3.3.6 Paso aéreo para fauna arborícola

El diseño de este tipo de paso presentó requerimientos muy específicos, con base en la experiencia de varios casos y consultando las experiencias en otros países a través de internet se obtuvieron dos propuestas básicas.

Criterios para el diseño de la propuesta:

- Debido a las altas temperaturas de la mayoría de los sitios donde se instalan este tipo de pasos los materiales empleados para las pasarelas deberían ser en lo posible térmicamente aislantes por ello se diseñó uno con pasarela a base de tablones de madera unidos con cuerdas.
- Para disminuir la necesidad de mantenimiento se propuso una pasarela a base de malla metálica con cables de acero, pero en todo caso estos elementos deberían ser recubiertos por plástico o algún otro material térmicamente aislante.
- Las estructuras de soporte de los pasos deberían resistir las fuerzas de tensión generadas por la catenaria de la pasarela por lo cual deberían quedar reforzadas por un contraventeo hacia muros de concreto enterrados (ver **Figura 88** Detalle de los pasos para fauna arborícola).
- El final de las pasarelas debería quedar conectado hacia los árboles circundantes, por tal motivo se debería considerar la posibilidad de extender la pasarela más allá del derecho de vía o agregar cuerdas que permitan a los animales realizar la conexión hacia los demás árboles.
- Para proteger a los animales que usaran los pasos de las aves rapáceas se requería alguna protección y para ello se propuso la instalación de cables por encima de las pasarelas.
- Se hace hincapié en el Manual que el cálculo de la catenaria debería considerar un máximo de 8 individuos con un peso promedio de 40 kg por cada uno como carga viva.

Derivado de las consideraciones anteriores se elaboraron los siguientes planos orientativos.

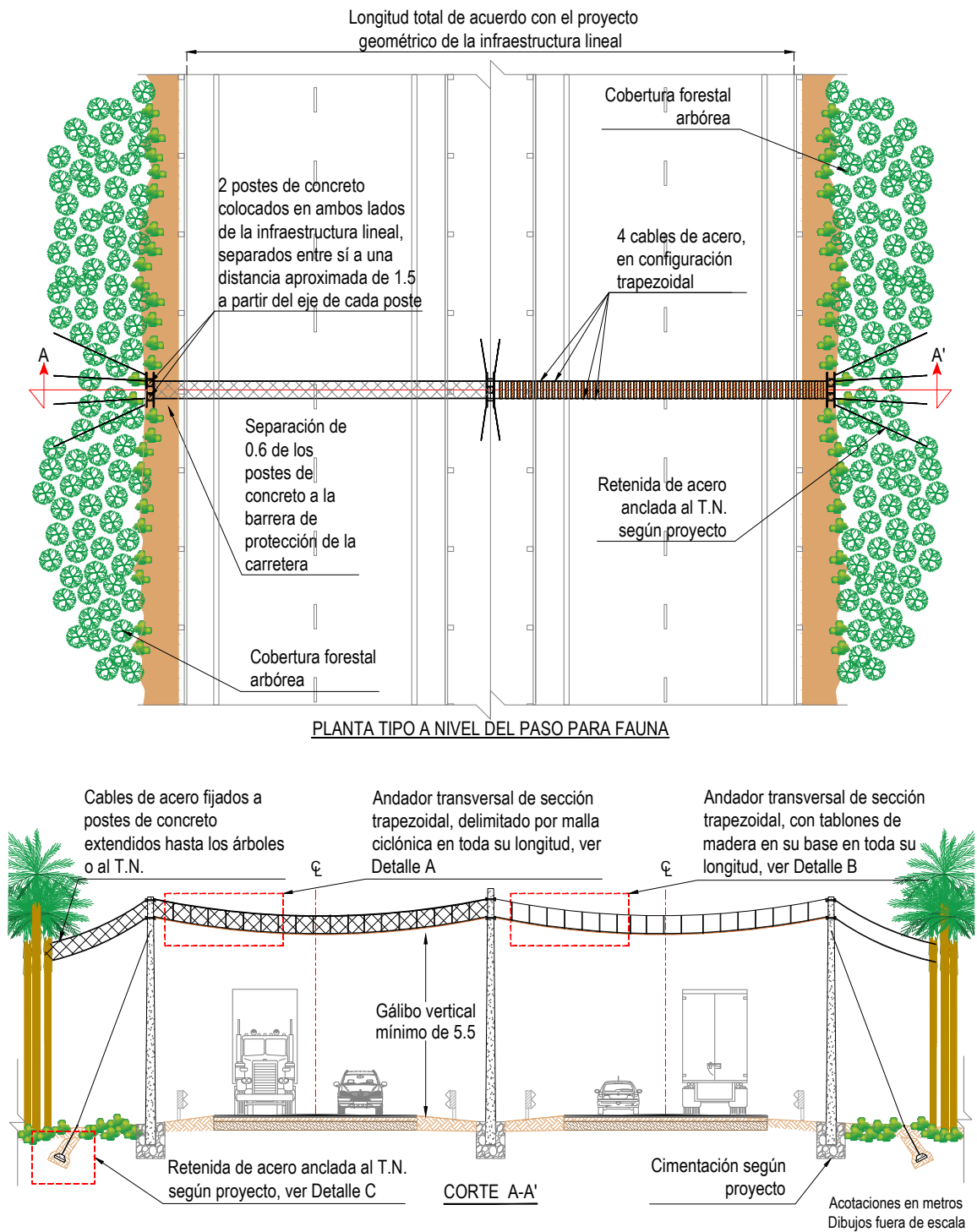
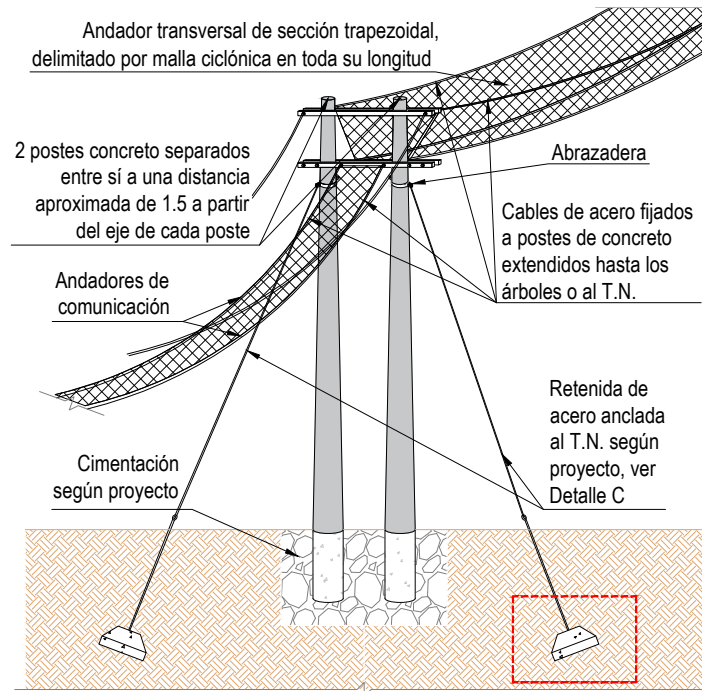
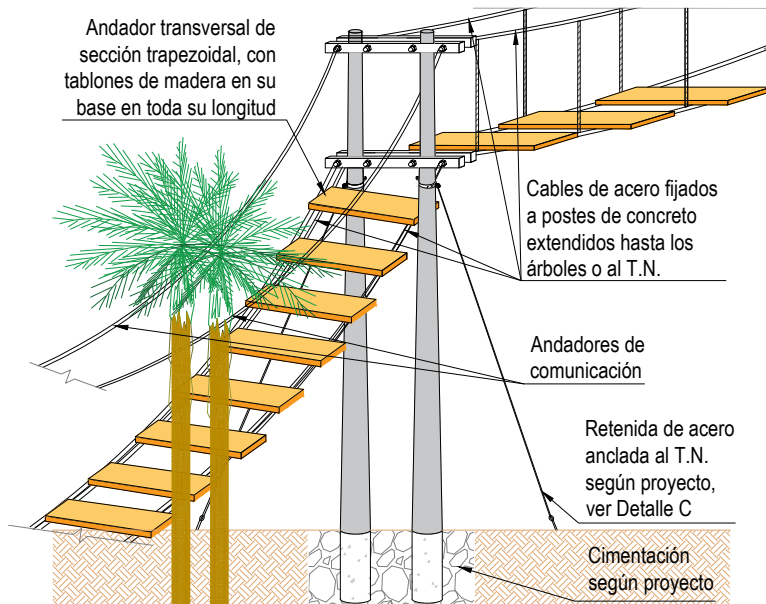


Figura 87 Planta tipo y corte A-A' de paso aéreo para fauna arbórea

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)



Andador transversal con malla ciclónica



Andador transversal con tabloncillos de madera

Acotaciones en metros
Dibujos fuera de escala

Figura 88 Detalle de los pasos para fauna arborícola

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.7 Obra para paso y protección de fauna voladora

Este tipo de paso permite la protección de aves que cruzan en vuelo raso por carreteras que se sitúan principalmente a la orilla de cuerpos de agua.

Criterios para el diseño de la propuesta

- Se requiere que no ofrezca resistencia al viento por lo cual se diseña con estructura metálica con malla ciclónica para impedir el paso de aves.

La propuesta generó el siguiente plano orientativo y algunos detalles.

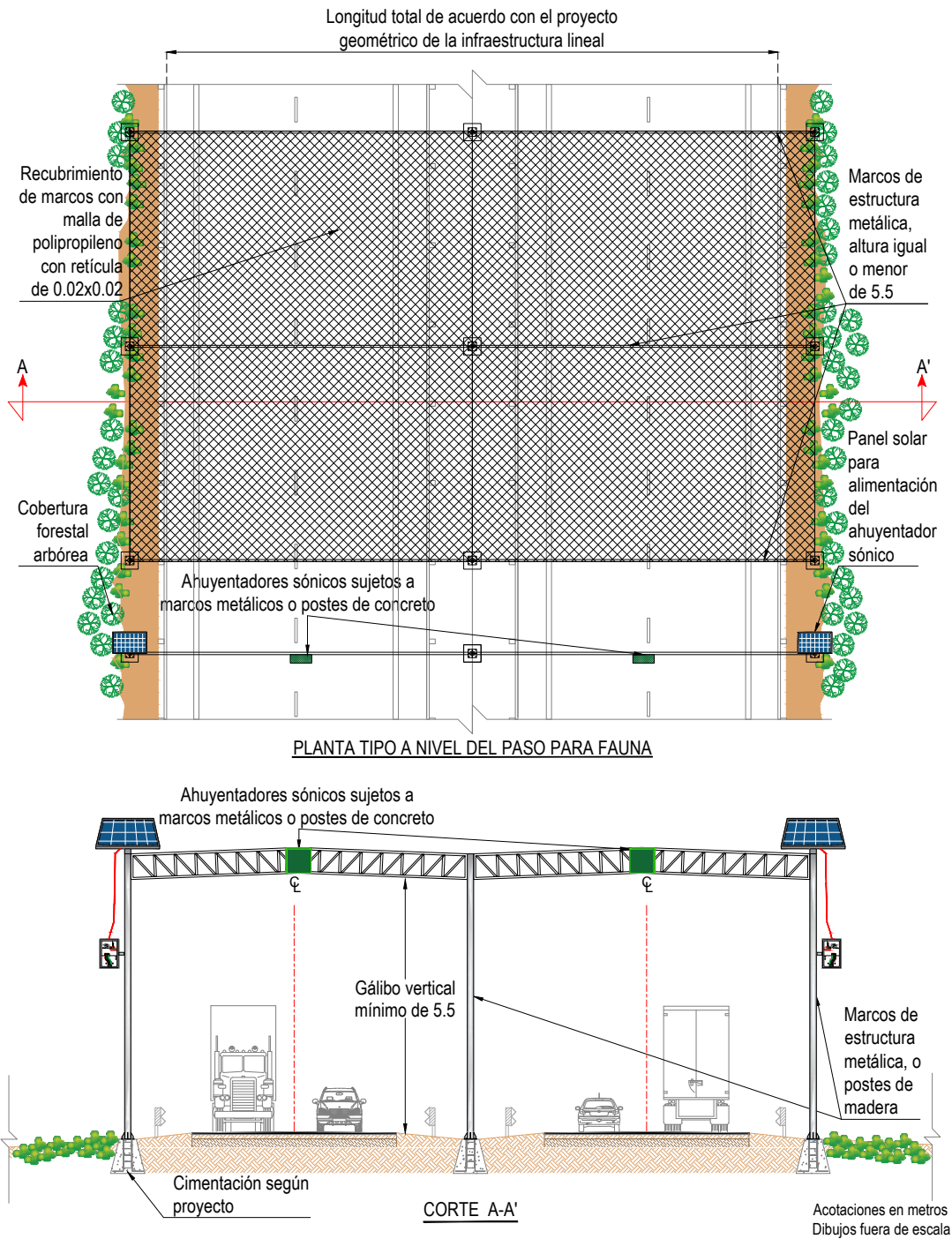


Figura 89 Planta tipo y corte A-A' de obra para paso y protección de fauna voladora implementando malla de protección

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.8 Paso temporal para invertebrados migratorios

Este tipo de pasos de diseño muy específico únicamente se coloca de forma temporal de acuerdo con los hábitos migratorios de cangrejos principalmente y otros invertebrados.

Criterios para el diseño de la propuesta

- El mayor requerimiento en el diseño de este paso fue que debería ser desmontable por lo cual generalmente se construyen de estructura metálica para poder retirarlos la mayor parte del año y evitar su desgaste por causa del intemperismo.
- Un requerimiento secundario lo constituye la barrera de inducción la cual permite dirigir a la fauna hacia el paso.

La propuesta generó el siguiente plano orientativo.

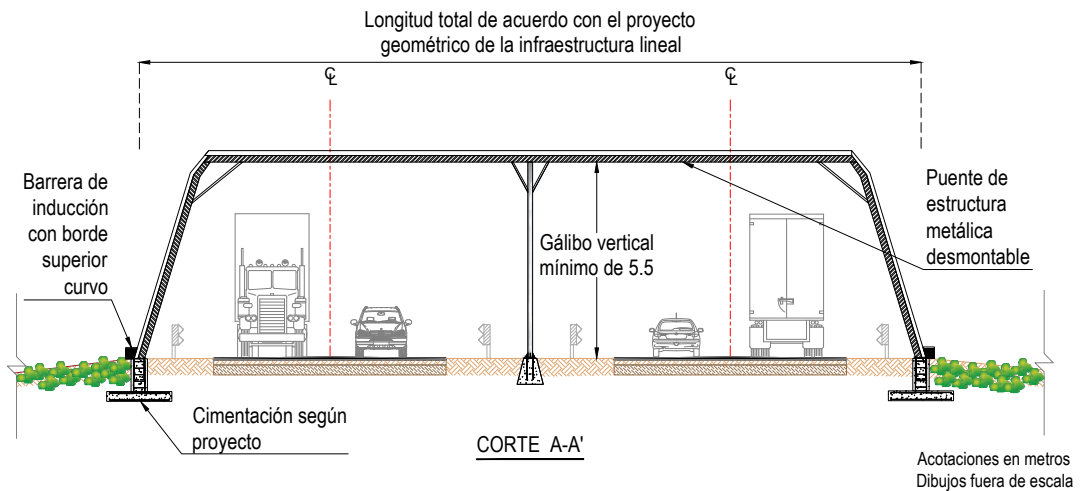
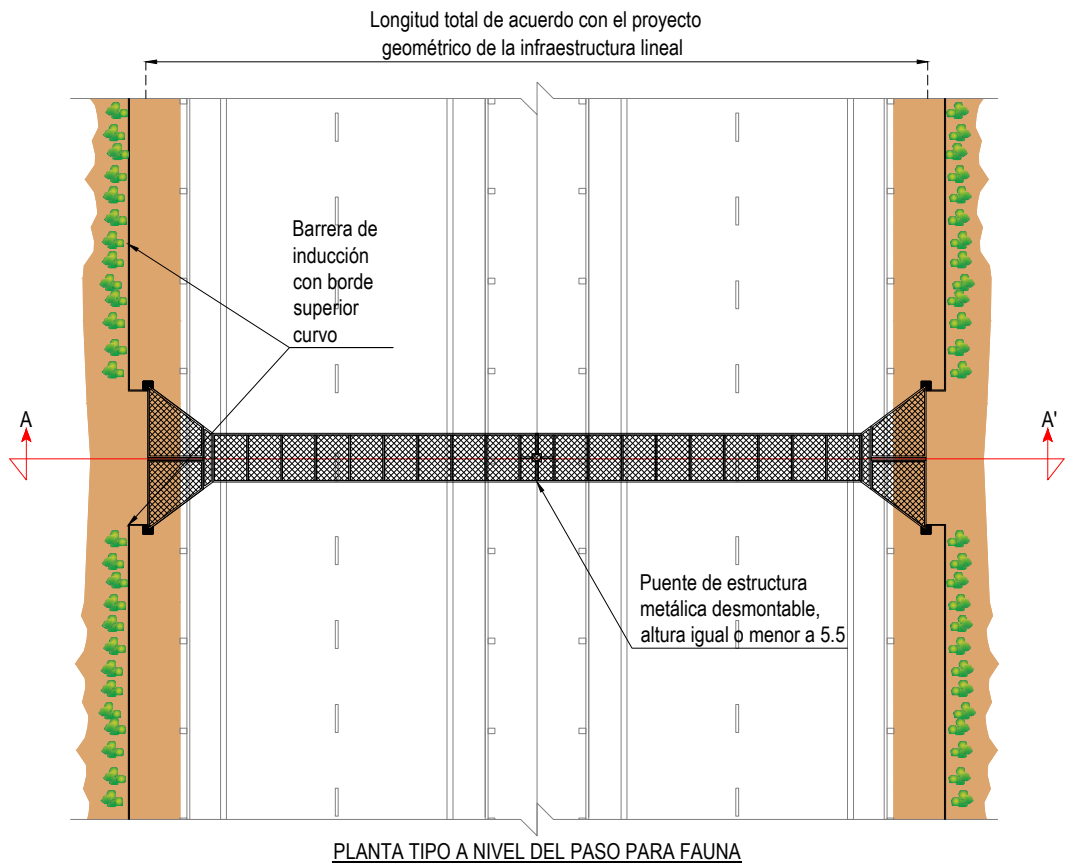


Figura 90 Planta tipo, corte A-A' y corte B-B' de un paso temporal para invertebrados migratorios con capacidad trepadora

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

5.3.3.9 Paso para fauna acuática

Este tipo de pasos resultaron muy especiales en su propuesta en virtud de que por una parte el agua solo se desplaza en una sola dirección y por la otra solo es posible su implementación cuando la diferencia de niveles aguas arriba y aguas abajo no sea considerablemente grande.

Criterios para el diseño de la propuesta

- Se requirió que siempre estuviera presente un tirante mínimo de agua suficiente para cubrir a los peces en su trayectoria en sentido inverso a la dirección del flujo.
- Se requirió la formación de pequeñas pozas que disminuyeran la velocidad del agua de forma que los peces pudieran descansar por algunos periodos durante su trayecto.

Derivado de las consideraciones anteriores se elaboró el siguiente plano orientativo.

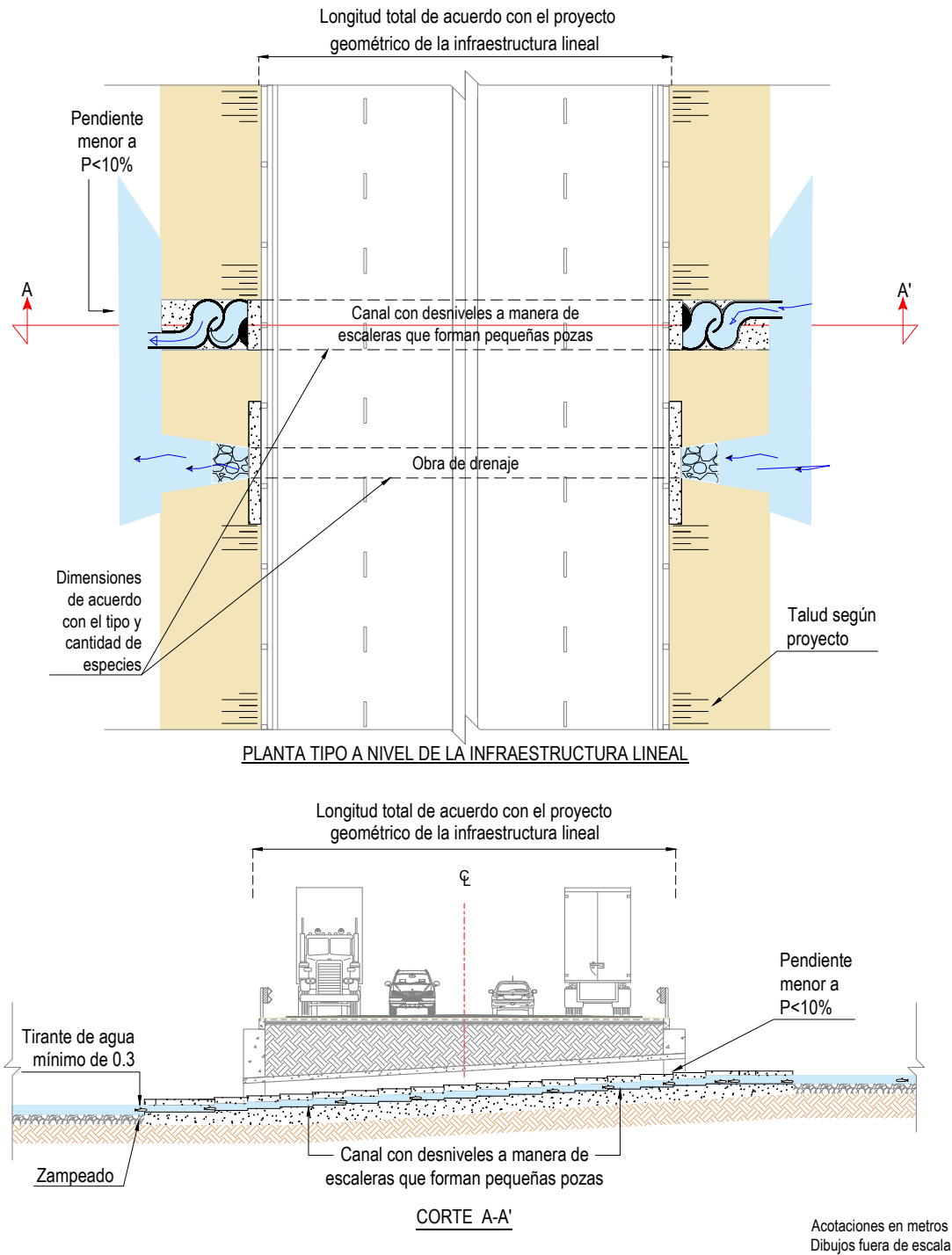


Figura 91 Planta tipo, corte A-A' y corte B-B' de paso para fauna acuática mediante canal y obra de drenaje

Fuente: Manual de Diseño de Pasos para Fauna silvestre en Carreteras (Ref. 1)

Pictogramas preventivos para señalización de fauna silvestre propuestos en el Manual

Como parte de las contribuciones del Manual se propuso la inclusión de 3 nuevos pictogramas en el catálogo de señales preventivas de la SICT, estos corresponden a especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y que son consideradas especies protegidas ya que son de las especies más afectadas por atropellamiento en las carreteras mexicanas.

El primer pictograma propuesto corresponde a los reptiles, representados por la serpiente Boa o Mazacuata (*Boa constrictor imperator*).

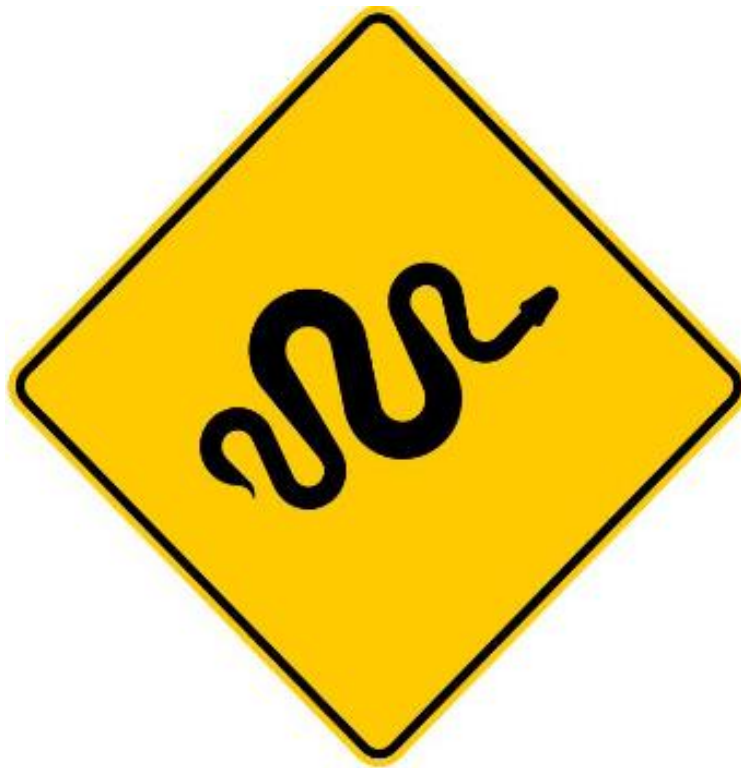


Figura 92 Propuesta de señal preventiva SP-48 Fauna Silvestre con el pictograma "reptiles"

Fuente: Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref.1)

El segundo pictograma corresponde a las aves representadas por la silueta de un pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*). Esta especie se considera endémica con la categoría de "amenazada" en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y como se ha mencionado es constantemente atropellado en sitios cercanos a cuerpos de agua debido a su vuelo raso sobre la superficie del agua y que al momento de cruzar por encima de la carretera es común el encuentro con vehículos en circulación.



Figura 93 Propuesta de señal preventiva SP-48 Fauna Silvestre con el pictograma "aves"

Fuente: Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref.1)

Finalmente, el tercer pictograma propuesto en el Manual corresponde a los invertebrados migratorios los cuales son atropellados en carreteras durante sus grandes movilizaciones con fines de reproducción, como el caso del Cangrejo Azul (Cardisoma Guanhumi) que habita en zonas de manglar, cocotales y playas fangosas, así como también es el caso de algunas especies de tarántulas.



Figura 94 Propuesta de señal preventiva SP-48 Fauna Silvestre con el pictograma "invertebrados"

Fuente: Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras (Ref.1)

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

El diseño de pasos para fauna en México es de reciente implementación relativamente hablando, por lo cual la mayoría de los ingenieros encargados de la planeación, el proyecto geométrico y la construcción de vías terrestres no están familiarizados con los diversos temas que implica la implementación de estas estructuras como parte de los requerimientos que, una vez aprobada la Manifestación de Impacto Ambiental, son condicionantes para ejecutar el proyecto sobre todo cuando se trata del cruce por áreas con alta biodiversidad como es el caso de muchas regiones en el país. De acuerdo con todo lo anteriormente expuesto se presentan las siguientes conclusiones:

Necesidad de incorporación de los Pasos Inferiores para Fauna (PIFA) a la normatividad estructural vigente.

Uno de los problemas más comunes en cuanto a la inclusión de los Pasos Inferiores para Fauna es que en la práctica la normatividad vigente obliga a cumplir con una serie de requisitos de seguridad que redundan en el encarecimiento de las obras como puentes vehiculares, puentes para personas y ganado o para maquinaria agrícola. Por lo anterior se concluye que si fuera posible incluir en la normatividad de diseño carretero los pasos para fauna el costo se reduciría notablemente aumentando la posibilidad de su implementación dentro del marco económico de cualquier proyecto en virtud de que las cargas vivas y muertas consideradas en este tipo de estructuras, tal como se ha descrito, son menores que las convencionalmente empleadas para el cálculo estructural de un puente convencional, por ello resultaría muy útil llevar la discusión sobre estos tópicos hasta los organismos encargados de la actualización de la normatividad técnica en esta materia como el Instituto de Ingeniería de la UNAM o el Instituto Mexicano del Transporte IMT para eventualmente lograr su incorporación al marco legal mexicano.

Propuesta de modificación a la norma de proyecto carretero M-PRY-CAR-4-01-002/16

En muchos casos, las carreteras existentes más antiguas en México no cuentan con pasos para fauna silvestre, por ello resulta importante la incorporación de los diseños de obra mixta explicados en esta tesis ya que con una mínima inversión sería posible adaptar muchas obras de drenaje para que funcionen también como paso para fauna como ya se ha explicado. Por ello se ha planteado en la sección **4.6.3.2** la incorporación de esta modificación a partir de plantilla del plano de planta y elevación de una obra de drenaje tipo a base de losa de concreto extraído de la norma M-PRY-CAR-4-01-002/16.

Importancia del trabajo multidisciplinario y colaborativo en la planeación de proyectos de vías terrestres

Derivado de todos los motivos expuestos y ejemplificados en esta tesis se elaboró el “Manual de Diseño de pasos para Fauna silvestre en Carreteras” en donde se vaciaron las ideas y experiencias que hasta el día se tienen en cuanto al tema se refiere, durante el proceso de elaboración se llevaron a cabo múltiples y extensas discusiones entre el equipo de medio ambiente, específicamente especialistas en fauna y vegetación, en coordinación con el autor de esta tesis presentando los requerimientos y criterios considerados para la elaboración de cada una de las propuestas de pasos para fauna mostrados en el Manual y

complementadas con el punto de vista del ingeniero civil a partir de los datos y requerimientos del equipo de biólogos de la empresa GRUPO SELOME S.A. DE C.V.

Por lo anterior se concluye que el trabajo multidisciplinario es pieza clave en cuanto a la planeación y la toma de decisiones del ingeniero civil en cualquier proyecto de vías terrestres, para ello se debe considerar que siempre se contará con el apoyo de especialistas en medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 **“Manual para el diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras”**
Dirección General de Servicios Técnicos DGST– Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
2021 SICT
- 2 **“Manual de proyecto geométrico 2018”**
Dirección General de Servicios Técnicos DGST-Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT
2018
- 3 **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente LGEEPA**
H. Congreso de la Unión
México, 2021
- 4 **NORMAS CTR-CAR y MPRY-CAR**
Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT
- 5 **“Guía de conservación de carreteras”**
Dirección General de Servicios Técnicos DGST-Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT
2014
- 6 **“Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales” PPT 01**
Ministerio de Medio Ambiente. 2006
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. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. 108 pp. Madrid
- 7 **“Fauna y tráfico”**
Manual Europeo para la Identificación de conflictos y el diseño de soluciones
Bjorn Luell, Hans GJ Becker, Ruud Cuperus, Jiri Dufek, Gary Fry, Claire Hicks, Vaclav Hlavák, Verena Keller, Carme Rosell, Tony Sangwine, Neils Torslov, Bárbara Le Marie Wandall
166 pp

Organismo Autónomo Parques Nacionales

- 8 **“Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre en México”**
Josué Israel Puc Sanchez, Carlos Delgado Trejo, Eduardo Mendoza Ramirez, Ileri Suazo Ortuño
CONABIO, BIODIVERSITAS
- 9 **“Observatorio de Movilidad y Mortalidad de Fauna en Carreteras para México WATCHMX V2.0”**
Juan Fernando Mendoza Sánchez, Alonso García Roa, Luz Angélica Gradilla Hernández
Instituto Mexicano del Transporte IMT
Publicación técnica no. 680
Sanfandila Qro. 2022
- 10 Tesis: **“Monitoreo de fauna silvestre atropellada en seis caminos y carreteras del norte del estado de Veracruz”**
Biol. Lucero Ruuiz Ramirez
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias FCBYA
Universidad Veracruzana
- 11 **“Análisis de la estructura del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental para proyectos carreteros”**
Efraín Márquez López, Juan Fernando Mendoza Sánchez, Julio Alejandro Chávez Cárdenas, Mario Salazar Amaya
Instituto Mexicano del Transporte IMT
Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT
Publicación Técnica No. 390
Sanfandila, Qro, 2013
- 12 **“Manual de Organización General de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”**
DOF. 13 agosto 2003
- 13 **“Fauna silvestre de México. Aspectos históricos de su gestión y conservación”**
Retana-Guiascón, O. G.
Universidad Autónoma de Campeche, 2006
- 14 **“Manual de Factibilidad Ambiental”**

- Dirección General de Servicios Técnicos DGST-Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT
2023
- 15 **“Fragmentación y sus implicaciones” Análisis y reflexión documental**
María del Carmen Navarro Rodriguez, Luis Fwernando Gonzales Guevara, Ramiro Flores Vargas, Rosario Teresita Amparán Salido
Departamento de Ciencias Biológicas
Centro Universitario de la Costa (UDG-CA-345)
Universidad de Guadalajara
- 16 **“WILDLIFE CROSSING STRUCTURE HANDBOOK Design and Evaluation in North America”**
FHWA-CFL/TD-11-003
2011 USA
- 17 **“Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras”**
DGST-SICT
- 18 **Comunicado: “Autopista Las Varas-Puerto Vallarta”**
<https://www.fonadin.gob.mx/fni2/fp29/>
Fecha de consulta: 24/08/2023
- 19 **Comunicado 045-2023**
<https://www.gob.mx/sct/prensa/pone-sict-en-operacion-segundo-tramo-de-autopista-las-varas-puerto-vallarta?idiom=es>
Fecha de consulta: 24/08/2023
- 20 **Comunicado de prensa:**
<https://aebba.org/noticias-puerto-vallarta/autopista-guadalajara-vallarta-concluira-en-el-2024/>
Fecha de consulta: 24/08/2023
- 21 **“Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas” Estudios de caso para el sureste de México**
Jorge A. Benítez
Griselda Escalona-Segura
México: El Colegio de la Frontera Sur Campeche, Campeche
2021

- 22 **“Review of human injuries, illnesses y economic losses caused by wildlife in the United States”**
Conover, M. R.; Pitt, W. C.; Kessler, K. K.; DuBow, T. J. y Sanborn, W. A.
Wildlife Society Bulletin
(1995)
- 23 **“The Influence of Road Infrastructure and Traffic on Soil, Water, and Air Quality”**
Van Bohemen, H. D. y Van de Laak, W. H. J.
Environmental Management
2003
- 24 **“Informe de la situación del medio ambiente en México 2015”**
Compendio de estadísticas ambientales, Indicadores clave de desempeño ambiental y de crecimiento verde
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT
México, 2016
- 25 <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Cuando-las-aves-se-cruzan-con-el-AVE>
Fecha de consulta: 24/08/2023
- 26 <https://sipse.com/novedades/cangrejo-azul-cancun-zona-hotelera-cruce-454976.html>
Fecha de consulta: 24/08/2023
- 28 **MIA – REGIONAL “RAMALES CEDRAL-TINTAL- TINTAL- PLAYA DEL CARMEN CON UNA LONGITUD DE 54 KM” EN EL ESTADO DE QUINTANA ROO**
Promovente: CONSORCIO DEL MAYAB S.A. DE C.V.
2011
- 29 **Revista AMIVTAC**
Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres A.C.
Año 13 (noviembre-diciembre 2021), #74
ISSN 2448-5292
viasterrestres.mx
Pp: 13-14

- 30 **MIA REGIONAL “CARRETERA JALA-PUERTO VALLARTA
Tramo Compostela II – Las Varas – Bucerías – E.C.
Libramiento Puerto Vallarta en una longitud de 109.4575 km
en los estados de Nayarit y Jalisco”**

Secretaría de Comunicaciones y Transportes

2009

- 31 **Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad
2014**

Dirección General de Sesrvicios Técnicos DGST– Secretaría de
Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, DGST, SCT.

2014

GLOSARIO

Manifestación del impacto ambiental: El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo

Paso para Fauna: Estructura transversal al camino destinada a mantener la conectividad entre ecosistemas fragmentados por la construcción de carreteras o ferrocarriles, que permiten el cruce de la fauna silvestre, aumentando la permeabilidad de la infraestructura.

Ruderales: Especie de planta que crece en zonas perturbadas por la acción del ser humano sin estar cultivada por él.

INDÍCE DE TABLAS

TABLA 1 ACTIVIDADES Y OBRAS QUE SON CONTEMPLADAS EN SU TOTALIDAD O DE FORMA PARCIAL EN LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA	10
TABLA 2 RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DEL TRÁFICO Y EL EFECTO BARRERA EN LOS MAMÍFEROS	19
TABLA 3 COSTO PROMEDIO POR TIPO DE HERIDA HUMANA POR COLISIONES VEHÍCULO- ANIMAL (USD)	26
TABLA 4 COSTO ESTIMADOS PARA COLISIONES VEHÍCULO-ANIMAL (USD)	26
TABLA 5 PRINCIPIOS DE LA DECLARACIÓN DE ESTOCOLMO	29
TABLA 6 EVOLUCIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	31
TABLA 7 FECHAS IMPORTANTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS PASOS PARA FAUNA EN EL EXTRANJERO	33
TABLA 8 DENSIDADES MÍNIMAS DE PASOS DE FAUNA PARA DISTINTOS GRUPOS DE REFERENCIA	35
TABLA 9 REGISTRO DE ATROPELLOS EN CARRETERAS ALEDAÑAS AL PROYECTO	63

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA DE PROCESOS PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO EJECUTIVO DE VÍAS TERRESTRES	6
FIGURA 2 REPRESENTACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS ESPECIES ANIMALES POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA	18
FIGURA 3 NÚMERO DE COLISIONES VEHÍCULO-ANIMAL EN MÉXICO, 1997-2020	21
FIGURA 4 PRINCIPALES AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE PROVOCADAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS TERRESTRES	23
FIGURA 5 NÚMERO DE COLISIONES ENTRE VEHÍCULOS Y ANIMALES, ASÍ COMO FATALIDADES HUMANAS, EN ESTADOS UNIDOS, ENTRE 1994 Y 2013	25
FIGURA 6 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES, SEGÚN SU GRADO DE RIESGO EN LOS PRINCIPALES GRUPOS TAXONÓMICOS SEGÚN LA NOM-059-SEMARNAT-2010	36
FIGURA 7 A) PASO INFERIOR PARA FAUNA (PIFA) EN GROENE WOULD, HOLANDA.	38
FIGURA 8 PUENTE CARRETERO, FERROVIARIO Y LOSA FUNCIONANDO COMO PASO SUPERIOR PARA FAUNA (PSFA).....	39
FIGURA 9 ALCANTARILLA DE LOSA MODIFICADA PARA FUNCIÓN MIXTA	40
FIGURA 10 PLANTA Y ELEVACIÓN DE UNA ALCANTARILLA DE LOSA DE CONCRETO	41
FIGURA 11 PLANTA Y ELEVACIÓN DE UNA ALCANTARILLA DE LOSA DE CONCRETO MODIFICADA PARA FUNCIÓN MIXTA	42
FIGURA 12 ALCANTARILLA EXISTENTE.....	43
FIGURA 13 ALCANTARILLA MODIFICADA CON BANQUETA Y REPISAS	44
FIGURA 14 EJEMPLOS DE PASOS PARA FAUNA EMBEBIDOS EN LA INFRAESTRUCTURA PARA EL CRUCE DE ANFIBIOS Y REPTILES.....	45
FIGURA 15 EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE PASO DE FAUNA A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y EMBEBIDO EN UNA CARRETERA.....	45
FIGURA 16 PROPUESTA DE PASO TIPO EMBEBIDO EN LA INFRAESTRUCTURA.....	46
FIGURA 17 DETALLE DE PASO TIPO EMBEBIDO EN LA INFRAESTRUCTURA	47
FIGURA 18 CORTE LONGITUDINAL PASO TIPO EMBEBIDO EN LA INFRAESTRUCTURA	47
FIGURA 19 PASO PARA FAUNA ARBORÍCOLA A BASE DE PASARELAS CON MALLA RECUBIERTA DE PLÁSTICO.....	48
FIGURA 20 PASO PARA FAUNA ARBORÍCOLA CON CUERDAS Y TABLONES (SECCIÓN TRANSVERSAL)	49
FIGURA 21 PASO PARA FAUNA ARBORÍCOLA A BASE DE ESTRUCTURA METÁLICA CON TABLONES DE MADERA	50
FIGURA 22 PASO PARA FAUNA ARBORÍCOLA A BASE DE ESTRUCTURA METÁLICA (SECCIÓN TRANSVERSAL)	50
FIGURA 23 OBRA DE PROTECCIÓN PARA AVES	51
FIGURA 24 COLOCACIÓN DE MALLA QUE LIMITA EL VUELO DE AVES Y MURCIÉLAGOS A RAS DE LA CORONA DE LA INFRAESTRUCTURA LINEAL.....	52
FIGURA 25 FUNCIONAMIENTO ESQUEMÁTICO DE LA OBRA DE PROTECCIÓN PARA AVES.....	52
FIGURA 26 PASOS PARA CANGREJOS (BRACHYURA) ISLA NAVIDAD, AUSTRALIA. A)EMBEBIDO EN LA CARRETERA (PSFA) Y B) OVERPASS DESMONTABLE (PIFA).....	53
FIGURA 27 FUNCIONAMIENTO DE LAS BARRERAS DE INDUCCIÓN EN CANGREJOS	54
FIGURA 28 ALCANTARILLA EN CARRETERA	55
FIGURA 29 EJEMPLOS DE LA COLOCACIÓN DE ELEMENTOS QUE PERMITEN EL MOVIMIENTO DE PECES EN AMBOS SENTIDOS CUANDO EL RÍO LLEVA POCO CAUDAL DE AGUA O BIEN.....	56
FIGURA 30 TENDIDO DE MALLA GANADERA (IZQ) Y MALLA CICLÓNICA CON RODAPIÉ (DER)	57
FIGURA 31 EJEMPLOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL DEFLECTOR PARA SERPIENTES.....	58
FIGURA 32 SEÑAL PREVENTIVA SP-48 FAUNA SILVESTRE	59
FIGURA 33 ÚLTIMOS PICTOGRAMAS PARA LA REPRESENTACIÓN DE FAUNA SILVESTRE AUTORIZADOS POR LA DGST DE LA SICT	60
FIGURA 34 REPRESENTACIÓN DE LOS TRAMOS DEL LIBRAMIENTO.....	61
FIGURA 35 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL LIBRAMIENTO TINTAL-PLAYA DEL CARMEN	62

FIGURA 36 REGISTRO DE ATROPELLOS EN CARRETERAS Y TERRACERIAS ALEDAÑAS AL PROYECTO POR GRUPO FAUNÍSTICO.....	64
FIGURA 37 INDICES KILOMÉTRICOS DE ATROPELLOS (IKA'S) EN CARRETERAS Y TERRACERÍAS ALEDAÑAS AL PROYECTO.....	64
FIGURA 38 ESPECIES ENDÉMICAS: A) OSO HORMIGUERO (TAMANDUA MEXICANA), B) PUERCO ESPÍN (COENDOU MEXICANUS), C) GUANQUEQUE (DASYPROCTA PUNCTATA), D) ARMADILLO (DASYPUS NOVEMCINCTUS), E) ZORRA GRIS (UROCYON CINEREOARGENTEUS), F) TLACUACHE (DIDELPHIS MARSUPIALIS), G) COATI (NASUA NARICA) Y H) CONEJO (SYLVILAGUS FLORIDANUS)	65
FIGURA 39 ESPECIES ENDÉMICAS: A) TORTUGA PECHO QUEBRADO (KINOSTERNON LEUCOSTOMUM), B) IGUANA ESPINOSA RAYADA (CTENOSAURA SIMILIS), C) AMEIVA ARCOIRIS (AMEIVA UNDULATA), D) LEMANCTO CORONADO (LAEMANCTUS SERRATUS), E) NAUYACA (BOTHROPS ASPER), F) CULEBRA GUARDA CAMINOS RAYADA (CONOPHIS LINEATUS), G) CULEBRA CHUPA CARACOLES (DIPSAS BREVIFACIES) Y H) BOA (BOA CONSTRICTOR).....	66
FIGURA 40 ESPECIES ENDÉMICAS: A) AGUILILLA CAMINERA (BUTEO MAGNIROSTRIS), B) ZOPILOTE COMÚN (CORAGYPS ATRATUS), C) GARRAPATERO PIJUY (CROTOPHAGA SULCIROSTRIS), D) CHIPE SUELERO (SEIURUS AUROCAPILLUS), E) CHACHALACA (ORTALIS VETULA) Y F) BOLSERO DORSO RAYADO (ICTERUS PUSTULATUS).....	67
FIGURA 41 ESPECIES ENDÉMICAS: A) RANA DE RÍO GRANDE (LITHOBATES BERLANDIERI), B) RANA DE ÁRBOL TREPADORA MEXICANA (SMILISCA BAUDINI), C) RANA OVEJA COMÚN (HYPOPACHUS VARIOLOSUS) Y D) SAPO DEL GOLFO (OLLOTIS VALLICEPS)	68
FIGURA 42 CORREDOR HIDROFORESTAL YUM BALAM HASTA SIAN KA'AN.....	70
FIGURA 43 UBICACIÓN DEL CORREDOR HIDROFORESTAL YUM BALAM HASTA SIAN KA'AN CON RESPECTO AL PROYECTO CARRETERO.	71
FIGURA 44 UBICACIÓN DEL PROYECTO CON RESPECTO A LAS UNIDADES DE CONSERVACIÓN DEL JAGUAR EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	72
FIGURA 45 IDONEIDAD DEL HÁBITAT PARA EL JAGUAR (PANTHERA ONCA) DE ACUERDO AL MODELADO CON EL PROGRAMA MAXENT	73
FIGURA 46 MODELO DE LOS CORREDORES POTENCIALES DE DESPLAZAMIENTO DE LOS JAGUALES EN LA ZONA DEL PROYECTO	74
FIGURA 47 UBICACIÓN DE PASOS PARA FAUNA MEDIANA (PSF-M LC-2.0X1.0 M) PROPUESTOS PARA EL PROYECTO.....	76
FIGURA 48 ESQUEMA DEL PASO SUPERIOR DE FAUNA MEDIANA Y GRANDE PSF-MG (MAMÍFEROS GRANDES)	77
FIGURA 49 UBICACIÓN DE PASOS PARA FAUNA GRANDE TIPO PSF-G (4 X 3 M) A LO LARGO DEL TRAZO DE PROYECTO: REGISTROS DE PUMAS (PUMA CONCOLOR).....	78
FIGURA 50 PROPUESTA DE PASO INFERIOR DE FAUNA (PIF) Ó SUPERCLARO PARA EL LIBRAMIENTO TINTAL-PLAYA DEL CARMEN.....	79
FIGURA 51 DETALLE DE CONFIGURACIÓN PROPUESTA PARA EL PIF	80
FIGURA 52 DETALLE DE TRABES Y CHAROLA-LOSA	80
FIGURA 53 PROPUESTA DE PASO AÉREO PARA FAUNA TREPADORA PARA EL LIBRAMIENTO TINTAL-PLAYA DEL CARMEN.....	81
FIGURA 54 ALZADO DEL PASO AÉREO PARA FAUNA TREPADORA PROPUESTO PARA EL LIBRAMIENTO TINTAL-PLAYA DEL CARMEN.....	82
FIGURA 55 DETALLES DEL PASO AÉREO PARA FAUNA TREPADORA PROPUESTO PARA EL LIBRAMIENTO TINTAL-PLAYA DEL CARMEN	83
FIGURA 56 UBICACIÓN DE PASOS AÉREOS PARA FAUNA TREPADORA (PAF) CON RESPECTO AL TRAZO DEL PROYECTO.....	84
FIGURA 57 TUBO COMO PASO SUPERIOR PARA FAUNA (PSF) PARA FAUNA MENOR CON CORTE A 90º EN TALUD	85
FIGURA 58 TUBO COMO PASO SUPERIOR DE FAUNA DE TALLA CHICA CON VALLADO DE INDUCCIÓN.....	85
FIGURA 59 SECCIONES TÍPICAS DEL PROYECTO	87
FIGURA 60 RUTAS ALTERNATIVAS EVALUADAS MEDIANTE ESTUDIOS TÉCNICOS (INCLUYENDO ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN Y EFECTO DE BORDES) Y REUNIONES CON AUTORIDADES.....	88

FIGURA 61 MODELO 1 DE CORREDORES POTENCIALES DE DESPLAZAMIENTO DE JAGUARES EN EL SUR DE NAYARIT	90
FIGURA 62 MODELO 2 DE CORREDORES POTENCIALES DE DESPLAZAMIENTO DE JAGUARES EN EL SUR DE NAYARIT	91
FIGURA 63 MODELO 3 DE CORREDORES POTENCIALES DE DESPLAZAMIENTO DE JAGUARES EN EL SUR DE NAYARIT	92
FIGURA 64 DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS MÁS RELEVANTES DE CRUCE DEL PROYECTO Y LA CARRETERA EXISTENTE CON LOS CORREDORES DE LOS JAGUARES	93
FIGURA 65 ZONA NORTE DEL ÁREA DELIMITADA COMO CORREDORES DE JAGUAR Y EL CRUCE DEL PROYECTO	94
FIGURA 66 ZONA SUR DEL ÁREA DELIMITADA COMO CORREDORES DE JAGUAR Y CRUCE CON LA RUTA DEL PROYECTO Y LA CARRETERA FEDERAL 200	94
FIGURA 67 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PERFIL DEL PROYECTO PARA JUSTIFICAR LA NECESIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES.	95
FIGURA 68 UBICACIÓN ESPECÍFICA DE LOS PASOS PARA JAGUAR PROPUESTOS Y TÚNELES DEL PROYECTO ..	96
FIGURA 69 PASO SUPERIOR DE JAGUAR TIPO (PSJ)	97
FIGURA 70 PASO INFERIOR DE JAGUAR PIJ (SUPERCLARO).....	97
FIGURA 71 PASO INFERIOR DE JAGUAR – PLANTA Y SECCIÓN DE CRUCE EN EL PROYECTO.....	98
FIGURA 72 PLANTA Y SECCIÓN DE CRUCE PARA PASO INFERIOR DE JAGUAR (PIJ) EN CARRETER 200 Y PASO SUPERIOR DE JAGUAR (PSF) EN EJE DE PROYECTO.....	98
FIGURA 73 PLANTA Y SECCIÓN DE CRUCE PARA PASO SUPERIOR DE JAGUAR (PSF) EN EJE DE PROYECTO Y PASO INFERIOR DE JAGUAR (PIJ) EN CARRETER 200	99
FIGURA 74 PORTADA DEL MANUAL DE DISEÑO DE PASOS PARA FAUNA SILVESTRE EN CARRETERAS	100
FIGURA 75 PIFA DE BÓVEDA (PLANTAS A NIVEL DE LA CARRETERA Y A NIVEL DEL PASO PARA FAUNA)	103
FIGURA 76 ESTRUCTURA DE BÓVEDA DE SOPORTE PARA EL PIFA.....	104
FIGURA 77 PIFA DE LOSA (PLANTA A NIVEL DE LA CARRETERA Y CORTES).....	105
FIGURA 78 PLANTA Y CORTE DE PSFA MEDIANTE CAJÓN DE CONCRETO	107
FIGURA 79 ALZADO DE UN PSFA DE 3 X 3 M CON OBRA DE DRENAJE	108
FIGURA 80 ALCANTARILLA MODIFICADA COMO PSFA Y DETALLES	109
FIGURA 81 PLANTA Y CORTES DE UNA ALCANTARILLA MODIFICADA PARA FUNCIÓN MIXTA	110
FIGURA 82 CAJÓN PREFABRICADO COMO OBRA MIXTA (DRENAJE Y PSFA).....	111
FIGURA 83 PROPUESTA DE PREFABRICADO COMO OBRA MIXTA (DRENAJE Y PSFA)	112
FIGURA 84 VISTAS DE PROPUESTA DE PREFABRICADO COMO OBRA MIXTA (DRENAJE Y PSFA).....	112
FIGURA 85 PLANTA TIPO Y CORTE A-A' DE PASO PARA FAUNA EMBEBIDO EN LA INFRAESTRUCTURA LINEAL MEDIANTE CAJÓN PREFABRICADO.....	113
FIGURA 86 DETALLES DE PASO PARA FAUNA EMBEBIDO EN LA INFRAESTRUCTURA LINEAL MEDIANTE CAJÓN PREFABRICADO.....	114
FIGURA 87 PLANTA TIPO Y CORTE A-A' DE PASO AÉREO PARA FAUNA ARBORÍCOLA	116
FIGURA 88 DETALLE DE LOS PASOS PARA FAUNA ARBORÍCOLA	117
FIGURA 89 PLANTA TIPO Y CORTE A-A' DE OBRA PARA PASO Y PROTECCIÓN DE FAUNA VOLADORA IMPLEMENTANDO MALLA DE PROTECCIÓN.....	119
FIGURA 90 PLANTA TIPO, CORTE A-A' Y CORTE B-B' DE UN PASO TEMPORAL PARA INVERTEBRADOS MIGRATORIOS CON CAPACIDAD TREPADORA.....	121
FIGURA 91 PLANTA TIPO, CORTE A-A' Y CORTE B-B' DE PASO PARA FAUNA ACUÁTICA MEDIANTE CANAL Y OBRA DE DRENAJE	123
FIGURA 92 PROPUESTA DE SEÑAL PREVENTIVA SP-48 FAUNA SILVESTRE CON EL PICTOGRAMA "REPTILES"	124
FIGURA 93 PROPUESTA DE SEÑAL PREVENTIVA SP-48 FAUNA SILVESTRE CON EL PICTOGRAMA "AVES"	125
FIGURA 94 PROPUESTA DE SEÑAL PREVENTIVA SP-48 FAUNA SILVESTRE CON EL PICTOGRAMA "AVES"	126