



---

# **IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS. EFECTOS POR LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO: II PAVIMENTOS RIGIDOS**

José Luis Hernández Michaca  
Víctor Manuel Sánchez Granados  
Irene Castillo Chaires  
Sergio Alberto Damián Hernández  
Rodolfo Téllez Gutiérrez

**Publicación Técnica No. 173  
Sanfandila, Qro. 2001**

CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683  
Mixcoac - Benito Juárez  
03730 México, D.F.  
Tels. (5) 598 38 63  
598 52 18  
Fax (5) 598 64 57  
Internet:  
<http://www.imt.mx>

SANFANDILA

Km 12+000, Carretera  
Querétaro – Galindo  
76700 P. Escobedo, Qro.  
Tels. (4) 216 97 77  
216 97 44  
216 95 97  
Fax (4) 216 96 71

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS  
CARRETEROS. EFECTOS POR LA  
CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE  
SUPERFICIES DE RODAMIENTO: II PAVIMENTOS  
RIGIDOS**

**Publicación Técnica No. 173  
Sanfandila, Qro. 2001**

---



---

Este trabajo forma parte de la línea de investigación que el I.M.T. desarrolla sobre Impacto Ambiental generado por las Carreteras, analizando en detalle diversos efectos. En esta publicación, en particular se estudian los efectos por la construcción y conservación de pavimentos rígidos, y fue elaborada por la empresa Geología y Medio Ambiente, S.A. de C.V., bajo contrato con el Instituto Mexicano del Transporte, en el que intervinieron directamente el Ing. José Luis Hernández Michaca, el Ing. Víctor Manuel Sánchez Granados y Biol. Irene Castillo Chaires, consultores expertos de las áreas de Geología, Construcción, Biología y Química. El trabajo fue supervisado y complementado por investigadores del Area de Medio Ambiente de la Coordinación de Infraestructura del I.M.T., ingenieros Sergio Alberto Damián Hernández y Rodolfo Téllez Gutiérrez.





En este trabajo de investigación, como parte de la línea de Impactos Ambientales generados por la Infraestructura Carretera, se tiene por objetivo analizar con detalle los impactos ambientales producidos durante la construcción y mantenimiento de la superficie de rodamiento de las carreteras con pavimentos rígidos, que representa sólo una etapa en el proceso de construcción de carreteras, y proponer las medidas de mitigación correspondientes.

Para la realización de este estudio se obtuvo información bibliográfica y se elaboró una lista preliminar de impactos ambientales con base en el análisis de estudios de impacto ambiental consultados en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Nacional de Ecología.

Utilizando las técnicas conocidas para la realización de estudios de impacto ambiental, se eliminaron aquellos que no fuesen relevantes y se agruparon por etapa, construcción y conservación, así como por actividad. Se da una descripción de cada uno de los impactos y se proponen las medidas de mitigación correspondientes.

Finalmente, se plantean las conclusiones inherentes a los trabajos desarrollados.



As a specific part within the research line on Environmental Impacts generated by the highway system, the main purpose of this paper, is to analyze the environment impacts generated by the construction and maintenance of the roads surface with hidraulic concrete, as only a phase among the road construction, and to propose some mitigaton measurements.

In order to develop this job, some bibliography and environmental impact studies were selected from the Secretaría de Comunicaciones y Transportes and the Instituto Nacional de Ecología.

Using the knowed thechniques for development the environmental impact studies, the nonrelevant impacts were eliminated; the relevant environmental impacts were agruped by phases (construction and maintenance) and by activities. Impacts are described and mitigation measures proposed.

Finally, the paper contains some conclusions of this work.





En nuestro país, antes de los 90's, la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México era muy escasa sobre todo en la red carretera, lo anterior se debía a que México es un importante productor de petróleo y en consecuencia de asfalto. Por esta razón los precios de los pavimentos de concreto asfáltico en el país eran inferiores a los del concreto hidráulico, aún más, dado que los asfaltos estaban subsidiados. Otro factor importante, es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tendrían que soportar, los pavimentos de asfalto eran suficientes, además no existían equipos de alto rendimiento para pavimentación con concreto.

Actualmente, algunos caminos en México presentan tal intensidad de vehículos con carga pesada, que los pavimentos de concreto asfáltico tradicionales ya no pueden soportar. Por otro lado al estar la producción de asfalto en manos de un solo fabricante, la calidad no ha sido siempre la óptima para la construcción de carreteras de altas especificaciones.

Los objetivos de este trabajo, son analizar con detalle los impactos ambientales que se pueden presentar durante la construcción y el mantenimiento o conservación de la superficie de rodamiento de pavimentos rígidos elaborados con concreto hidráulico y proponer las medidas de mitigación para las afectaciones de tipo adverso.

La primera etapa en la elaboración del estudio fue la realización de una recopilación bibliográfica, lo que necesitó identificar los sitios para obtener información sobre pavimentos rígidos, (características, composición, clasificación y construcción, entre otros aspectos).

De los documentos consultados se obtuvo información de todos los aspectos que se requieren para realizar una adecuada descripción de las actividades que son necesarias para la construcción y conservación de las carpetas hidráulicas, así como de los elementos metodológicos y técnicos en la identificación, evaluación y mitigación de impactos ambientales. A partir de esta información se desarrollaron cada uno de los temas que conforman el documento final.

Posteriormente, se elaboró una lista preliminar de impactos ambientales con base en la información obtenida en los estudios de impacto ambiental consultados en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y en el Instituto Nacional de Ecología. En este listado se encuentran los impactos generados únicamente en la etapa de construcción y conservación de superficies de rodamiento de pavimento rígidos para proyectos carreteros.

## **Resumen Ejecutivo**

---

Finalmente con base en la información técnica sobre la descripción del proceso de construcción y conservación de pavimentos rígidos, las características de las materias primas empleadas y las técnicas de identificación de impactos más adecuadas para este proyecto, se determinaron los impactos generados durante esta etapa del proyecto.

Por lo anterior, se desprende que los principales impactos generados durante la construcción y conservación de superficies de rodamiento de pavimento rígidos son los siguientes:

Etapa: CONSTRUCCION

Actividad: Aprovechamiento de bancos de material.

Impacto: Disminución de la calidad del aire.

Incremento de ruido laboral y ambiental.

Disminución en la calidad del suelo e incremento en la erodabilidad.

Modificación de la calidad del agua de los acuíferos.

Afectaciones a la salud.

Modificación del microclima.

Modificación de la topografía.

Modificación del patrón de drenaje superficial.

Deterioro de la calidad del agua superficial.

Eliminación de la cubierta vegetal.

Actividad: Colocación y extensión de la superficie de rodamiento.

Impacto: Cambios en el microclima.

Modificación del patrón de drenaje del agua superficial.

Disminución en la recarga de acuíferos.

Disminución de las poblaciones faunísticas en la zona (abundancia).

Actividad: Curado.

Impacto: Cambios en el microclima.

Contaminación de suelo y agua superficial.

Actividad: Transporte de material y operación de la maquinaria.

Impacto: Disminución de la calidad del aire.

Elevación de los niveles de ruido.

Actividad: Manejo y almacenamiento de combustibles para maquinaria y equipos.

Impacto: Contaminación de suelo.

Generación de empleos.

Actividad: Apertura al público.

Impacto: Aumento de la infraestructura y servicios para la comunidad.

Disminución de la abundancia de la fauna.

Actividad: Todas las actividades de construcción provocan el siguiente impacto.

Impacto: Generación de empleos.

Daños a la salud de la población y de los trabajadores expuestos.

Crecimiento de la mancha urbana.

Etapas: CONSERVACION

Actividad: Reciclado parcial o total de la superficie de rodamiento.

Impacto: Aprovechamiento de recursos.

Impacto: Aumento de los niveles de ruido.

## **Resumen Ejecutivo**

---

Impacto: Alteración de las actividades de la comunidad.

Todos los impactos son descritos con un buen grado de detalle y se presentan medidas de mitigación para cada uno de ellos.

Como resultado del presente estudio se establecieron las siguientes conclusiones:

- Se identificaron dos impactos benéficos en la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos: la generación de empleos y, debido a que con la construcción de la carpeta hidráulica inicia la operación de la carretera, la comunicación entre comunidades, centros de desarrollo y sitios de interés se ven beneficiados. Este último se evalúa como significativo y es el principal objetivo de un proyecto carretero.
- Debido a que los bancos de material y su explotación son fundamentales en los proyectos carreteros, especialmente como proveedor de los agregados pétreos que requiere la superficie de rodamiento, se involucró en la evaluación de impacto ambiental. Las actividades requeridas para la explotación de los bancos de material, son las que mayor número de impactos adversos genera y que son más significativos en mayor número de elementos ambientales.
- De las actividades específicas en la construcción y conservación de la superficie de rodamiento de pavimentos rígidos, la colocación y extensión de material hidráulico, manejo y almacenamiento de combustibles son los que generan impactos adversos significativos.
- Los elementos ambientales que sufren impactos adversos significativos son el aire, el suelo y el agua. A este último se le identifica (en algunos casos) un impacto adverso significativo, más por el valor ambiental que por el daño que puede sufrir durante las actividades de construcción y conservación de la superficie de rodamiento de pavimentos rígidos.
- Las materias primas empleadas para la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos rígidos no implican un riesgo a la salud de los trabajadores, debido a que son en su mayoría productos pétreos, salvo los utilizados como combustibles, los tiempos de exposición reducidos y el factor de dilución al desarrollar los trabajos a la intemperie.

## Resumen Ejecutivo

---

- Los materiales pétreos empleados para la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos rígidos no implican un riesgo a la salud por sus características tóxicas, únicamente una acumulación de partículas en los pulmones puede causar alguna enfermedad, pero gracias al factor de dilución debido a que el trabajo se desarrolla al aire libre, y a que los materiales se mantienen húmedos, no se tienen reportes de enfermedades en esta actividad.
- Sin embargo, es importante destacar los impactos adversos que se identifican en el ambiente laboral, debido a que se generan gases con características tóxicas, ruido con niveles que pueden dañar el oído y en el manejo de sustancias identificadas como peligrosas, particularmente combustibles. Por esta razón, es muy importante dotar de equipo de seguridad a los trabajadores de acuerdo a la normatividad que aplique (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) y realizar y aplicar procedimientos por cada actividad que requiere la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos.
- El 75% de los impactos identificados son no significativos, el 20% son poco significativos y solamente el 5% son significativos. Por otra parte, de todos los impactos identificados, el 98% se puede mitigar, compensar o inclusive inhibir. El 2% que no se puede mitigar, compensar o inhibir, son impactos producidos por la explotación de los bancos de material, particularmente en la modificación del relieve local.
- De acuerdo con el punto anterior, los impactos generados por la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos, no representan un costo ambiental y social alto, por lo que en una evaluación beneficio-costos, son los impactos que menor número aportan y con menor valor.
- En comparación con los pavimentos flexibles la ventaja más notable de los pavimentos rígidos es que no se emplean ni se generan sustancias tóxicas como solventes, residuos de asfaltos y gases generados durante el calentamiento de los cementos asfálticos.



## IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS. EFECTOS POR LA CONSTRUCCION Y CONSERVACIÓN DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO: II. PAVIMENTOS RIGIDOS

### INDICE

	<b>RESUMEN</b>	<b>V</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>IX</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CONCEPTOS GENERALES DE PAVIMENTOS RIGIDOS</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCION DE PROPIEDADES QUIMICAS, FISICAS Y TOXICOLOGICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS</b>	<b>14</b>
	3.1 Descripción de los Materiales que Componen un Pavimento Rígido Típico	15
	3.1.1 Cemento	15
	3.1.2 Grava	16
	3.1.3 Arena	17
	3.1.4 Agua	18
	3.1.5 Aditivos	19
	3.2 Almacenamiento de Materiales	20
	3.3 Equipo e Instalación	20

<b>4</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO CON PAVIMENTOS RIGIDOS</b>	<b>24</b>
4.1	Descripción de la Estructura General de un Pavimento Rígido	24
4.2	Descripción del Proceso de Producción de Concreto en Planta y en Obra	27
4.3	Descripción del Proceso de Construcción de Superficies de Rodamiento de Pavimentos Rígidos	30
4.4	Drenaje	36
4.5	Juntas de Pavimento Rígido	36
<b>5</b>	<b>CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO</b>	<b>43</b>
5.1	Rehabilitación	43
5.2	Renivelación con y sin Fresado	44
5.3	Reciclado Total o Parcial de la Superficie	44
5.4	Deterioros Varios	45
<b>6</b>	<b>NORMATIVIDAD</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>IDENTIFICACION DE IMPACTOS</b>	<b>55</b>
7.1	Técnicas de Identificación y Evaluación de Impactos	56
7.1.1	Procedimiento pragmático o métodos ad hoc	56
7.1.2	Listas de chequeo	57
7.1.3	Matrices causa-efecto	57
7.1.4	Redes de interconexión	58
7.2	Técnicas Complementarias	58
7.2.1	Método gráfico	59

7.2.2	Método de mapas digitales	60
7.2.3	Metodo de modelos de usos de terreno	61
7.2.4	Método de pronóstico	63
7.3	Criterios de Selección de Métodos	65
8	SELECCION DE TECNICAS, DETERMINACION DE IMPACTOS Y MEDIDAS DE MITIGACION	67
8.1	Selección de Técnicas Apropriadas	67
8.2	Impactos Generados y Medidas de Mitigación	73
9	CONCLUSIONES	94
	BIBLIOGRAFIA	97

## 1 INTRODUCCION

Antes de 1990 la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue muy escasa sobre todo en la red carretera. Lo anterior se debe a que nuestro país es un importante productor de petróleo y en consecuencia de asfalto. Por esta razón los precios del pavimento de concreto asfáltico eran inferiores a los del concreto hidráulico. Otro factor importante es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tendrían que soportar, los pavimentos de asfalto eran lo suficientemente resistentes, además de no existir equipos de alto rendimiento para pavimentación con concreto.

Actualmente en algunos caminos en México se presentan altos volúmenes de tránsito (TDPA) y un gran porcentaje de vehículos con carga pesada, que los pavimentos de concreto asfáltico no pueden soportar; por otro lado, al estar la producción de asfalto en manos de un solo fabricante, la calidad no siempre ha sido la óptima para la construcción de carreteras de altas especificaciones.

En el año de 1993 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con el apoyo de Cementos Mexicanos, construyó la carretera Libramiento Ticumán con una longitud de 8.5 Km de concreto hidráulico, utilizando nuevas tecnologías de pavimentación y aplicando estrictas normas de calidad, tanto en la producción como en el tendido del concreto.

A partir de este proyecto se ha incrementado la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, entre los que se encuentran las siguientes autopistas: Guadalajara – Tepic, Cárdenas; Tabasco - Agua Dulce, Veracruz; Querétaro - San Luis Potosí; Tuxpan – Tihuatlán; Yautepec – Jojutla; San Luis Potosí - El Huizache; Ixtapa – Aeropuerto; Tulum – Nizu; Pirámides – Tulancingo y Palmillas Querétaro.

Los objetivos de este trabajo en particular, son analizar con detalle los impactos ambientales que se pueden presentar durante la construcción y conservación de la superficie de rodamiento de las carreteras de pavimentos rígidos (concreto hidráulico) y proponer las medidas de mitigación para las afectaciones de tipo adverso; sin embargo se identificaron los impactos generados por los bancos de material, que son los que proveen de la materia prima básica para la construcción y conservación de este tipo de superficies de rodamiento.

Las actividades específicas realizadas fueron las siguientes:

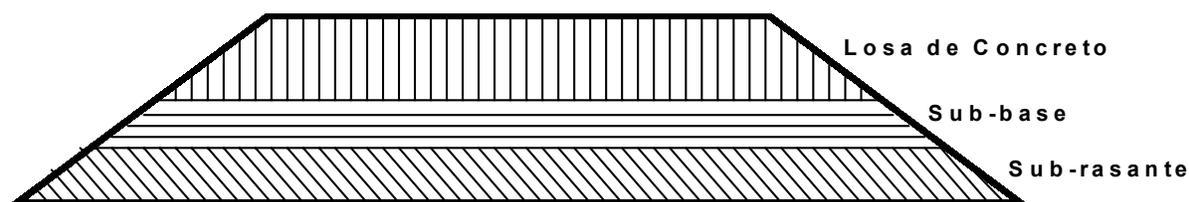
- √ Identificar y describir las propiedades físicas y químicas de los materiales y sustancias involucradas en la construcción y conservación de la superficie de rodamiento de las carreteras con pavimentos rígidos.
- √ Identificación de los impactos ambientales que se generan durante la construcción de la superficie de rodamiento de las carreteras con pavimentos rígidos.
- √ Identificar los impactos ambientales que se generan durante la conservación de la superficie de rodamiento de las carreteras con pavimentos rígidos.
- √ Proponer las medidas de mitigación para prevenir, minimizar, mitigar o compensar los efectos adversos de cada uno de los impactos identificados.

## 2 CONCEPTOS GENERALES DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Para lograr que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de ésta, es necesario que la capa de rodamiento se construya con suficiente espesor y calidad adecuada, por lo que normalmente se diseña con base en las características de resistencia y soporte del terreno, de esta manera cualquier presión dirigida al suelo bajo la losa, es absorbida por la resistencia de la misma.

La sección transversal típica de un pavimento rígido cuenta con los siguientes elementos estructurales: una losa de concreto como superficie de rodamiento y acotamientos laterales, los cuales podrán ser también de concreto o de algún otro material no erosionable. La sub-base, que puede ser de concreto pobre, base hidráulica estabilizada con cemento o asfalto o simplemente de agregados pétreos. Por último, el terreno de cimentación y/o subrasante estarán contruidos por materiales predominantes en la región y con tratamiento acorde al proyecto y las especificaciones particulares. En la Figura 2.1 se presenta una sección transversal típica de un pavimento rígido, donde se pueden observar las capas principales que lo constituyen.

**Figura 2.1 Sección transversal típica de un pavimento rígido**



De las funciones que desempeñan cada uno de los elementos estructurales, la losa es el elemento principal debido a que absorbe la mayor parte de los esfuerzos del pavimento, transmitiéndolos a las capas inferiores de manera disminuida. La sub-base tiene la función de proveer soporte uniforme, estable y permanente a la losa de concreto durante su construcción y vida útil, asimismo incrementa la capacidad de carga del terreno de cimentación al aumentar la rigidez de la estructura e impide la

migración de finos del terreno de cimentación hacia la superficie de la losa a través de grietas o juntas en esta última. El terreno de cimentación sirve como superficie de desplante para toda la estructura del pavimento.

Existen tres tipos de pavimento rígido. Los pavimentos de concreto en masa, pavimento continuo de concreto armado y pavimento de concreto armado con juntas.

- Los pavimentos de concreto sin refuerzo, con y sin juntas, que son los más empleados actualmente por ser su construcción más sencilla y de menor costo que la de los otros pavimentos, pero sólo apropiados en determinadas circunstancias.
- El pavimento continuo de concreto armado es una nueva estructura que ha empezado a emplearse en Francia y Estados Unidos. Es una losa gruesa sin capa de base ni pasadores en juntas y que no se apoya directamente sobre la explanada, sino sobre una delgada capa drenante granular o sobre un geotextil.
- Los pavimentos de concreto armado con juntas han caído en desuso por su alto costo y por problemas de corrosión interna. A veces se utilizan en la aproximación de puentes para amortiguar los asentamientos diferenciales.

Existen cinco factores importantes para considerar al concreto hidráulico como alternativa real en la construcción de caminos (Scorza Rojas, 1998).

- a) *Durabilidad*. Para hacer un pavimento durable se debe empezar por tener un proyecto de calidad, lo anterior implica una planeación y estudio del problema tanto en campo como en gabinete. El siguiente paso es la realización de estudios geotécnicos adecuados en lo que será la estructura de soporte, materiales en los que se construirá, buscando un diseño óptimo de la mezcla de concreto hidráulico para tener la resistencia adecuada.

- b) *Volúmenes y Cargas Vehiculares.* Por otro lado, es muy importante para el diseñador conocer de la manera más precisa, el volumen y cargas vehiculares que transitarán por el nuevo pavimento. Con estas variables básicas se recomienda utilizar varios procedimientos de diseño, buscando el diseño óptimo tanto estructural como económico y garantizando un pavimento de las características requeridas para que funciones adecuadamente a lo largo de su vida útil, optimizando los gastos de mantenimiento y reduciendo los sobrecostos de operación de los usuarios,
- c) *Incorporación de la Tecnología.* Si no se aplica un buen proceso para la producción del concreto y el tendido del mismo, va a ser imposible que el pavimento se comporte adecuadamente. Para tener una excelente calidad en los procedimientos constructivos, se recomienda la utilización de equipos de tecnología de punta con altos rendimientos, tal y como las pavimentadoras de cimbras deslizantes y las plantas de mezclado central para la fabricación del concreto. Lo anterior, aunado a una mano de obra calificada, permitirá lograr la calidad en la construcción y la durabilidad de los pavimentos.
- d) *Seguridad.* El concreto hidráulico conserva una superficie plana durante toda su vida útil, no produciéndose las roderas o canalizaciones por el tránsito de una superficie asfáltica, que con el paso del tiempo puede sufrir deformaciones que repercutirán en la seguridad de los usuarios. Por otro lado, el color claro del pavimento de concreto hidráulico permite una mejor visibilidad en caso de transitar de noche debido a la mayor reflexión de la luz.
- e) *Abatimiento de Costos.* Tradicionalmente se tiene la idea de que el pavimento de concreto hidráulico tiene un costo mayor al pavimento flexible, sin embargo, con la incorporación de la tecnología en equipos de alta producción y con la utilización de mano de obra capacitada, en la actualidad se ha llegado a la conclusión de que esta

apreciación es incorrecta, sobre todo cuando se analizan estructuras equivalentes con una misma vida útil, es decir, comparando globalmente el costo inicial de cada pavimento, el de mantenimiento y el de operación. Las ventajas de los pavimentos rígidos son más evidentes en vialidades sujetas a tránsito pesado, donde se aprecia un deterioro mínimo durante su vida útil (de 20 a 30 años), menores requerimientos de mantenimiento, deformaciones mínimas de su superficie, índice de servicio alto durante su vida útil, mayor velocidad de construcción, disminución de costos de operación, mejor drenaje superficial, mayor reflexión de la luz y requiere menor estructura de soporte.

f) *Incentivos / penalizaciones.* Actualmente en México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes incluye en las licitaciones nacionales una serie de incentivos a los constructores que logran exceder indicadores de la calidad del pavimento de concreto hidráulico, como lo es, por ejemplo, el índice de perfil. Lo anterior es una medida muy adecuada y utilizada en países desarrollados que logra provocar la utilización de equipos con tecnología de punta y con el valor agregado para el usuario de una vialidad con alto nivel de servicio y una larga vida útil garantizada; en contraparte, cuando no se llega a los niveles especificados, también hay penalizaciones contra los contratistas las cuales pueden llegar hasta levantar el pavimento.

Varios criterios se han seguido en la selección de los tramos donde se usan pavimentos de concreto hidráulico, el tránsito es y será uno de los más importantes. En la mayoría de los casos en los que se han construido pavimentos de concreto hidráulico, el tránsito de diseño ha sido mayor a 8.2 toneladas por eje.

Otro de los factores determinantes al momento de decidir el usar o no un pavimento de concreto hidráulico ha sido la topografía. El uso de estos pavimentos se ha visto limitado sólo para zonas planas o de lomerío suave, por los problemas que pueden

causar los asentamientos de grandes terraplenes. Por otro lado se debe tomar en cuenta también el tipo de terreno sobre el cual se va a construir, en México se ha limitado el uso de pavimentos de concreto en suelos blandos, tratando con lo anterior de evitar problemas producidos por consolidación.

Para el diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México se han seguido ciertos criterios; por ejemplo, el espaciamiento de juntas de contracción sin pasajuntas varía de 4.2 a 4.5 m. En cambio, con el uso de pasajuntas la distancia de separación de juntas transversales se han construido en rangos de 4.5 a 6 m. El criterio utilizado para la separación de juntas se basa en colocarlas de 24 a 36 veces el espesor del pavimento en centímetros, según el tipo de materiales sobre los cuales se construye y se usan dispositivos mecánicos para la transferencia de carga. Las juntas longitudinales se han construido con separaciones de 3.5 a 6.0 m, siempre tratando que la relación de largo ancho de las losas de rodamiento esté en rangos de 1 a 1.4.

Hay dos tipos de dispositivos de acero que se colocan en cada una de estas juntas, las barras de amarre en las juntas longitudinales son barras de acero corrugado No. 4 de entre 70 y 90 cm de longitud que se han colocado a una distancia desde 60 a 120 cm según sea una junta interior o exterior. El segundo tipo de dispositivos son las pasajuntas que son barras redondeadas y lisas, con diámetros de 1 ¼ a 1 ½ pulgadas, aproximadamente 1/8 del espesor de las losas.

Para el sello de juntas se ha utilizado un sello preformado plástico y en la mayoría de los casos un silicón autonivelante soportado por una tirilla de respaldo. Los acotamientos se han hecho de concreto del mismo espesor del pavimento y amarrados a la losa por medio de barras de amarre.

Para los pavimentos de concreto, construidos o en proceso de construcción en carreteras de 1993 a febrero de 1997, se han utilizado dos tipos de pavimentos rígidos:

de concreto con pasajuntas que constituye el 91% de la longitud total y de concreto simple el 9%. En la Tabla 2.1 se presenta la distribución así como la situación de funcionamiento o estado actual de los pavimentos rígidos construidos en carreteras interurbanas.

**Tabla 2.1 Estado actual de los pavimentos de concreto construidos en carreteras interurbanas**

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE OBRA	ESTADO ACTUAL	LONGITUD EQUIVALENTE Km/CARRIL
Concreto simple (JCP)	Refuerzo	En servicio	110.00
		En construcción	-
	Nuevo	En servicio	64.00
		En construcción	-
Concreto con pasajuntas (JRCP)	Refuerzo	En servicio	368.00
		En construcción	384.00
	Nuevo	En servicio	528.00
		En construcción	516.00
		TOTAL	1,970.00

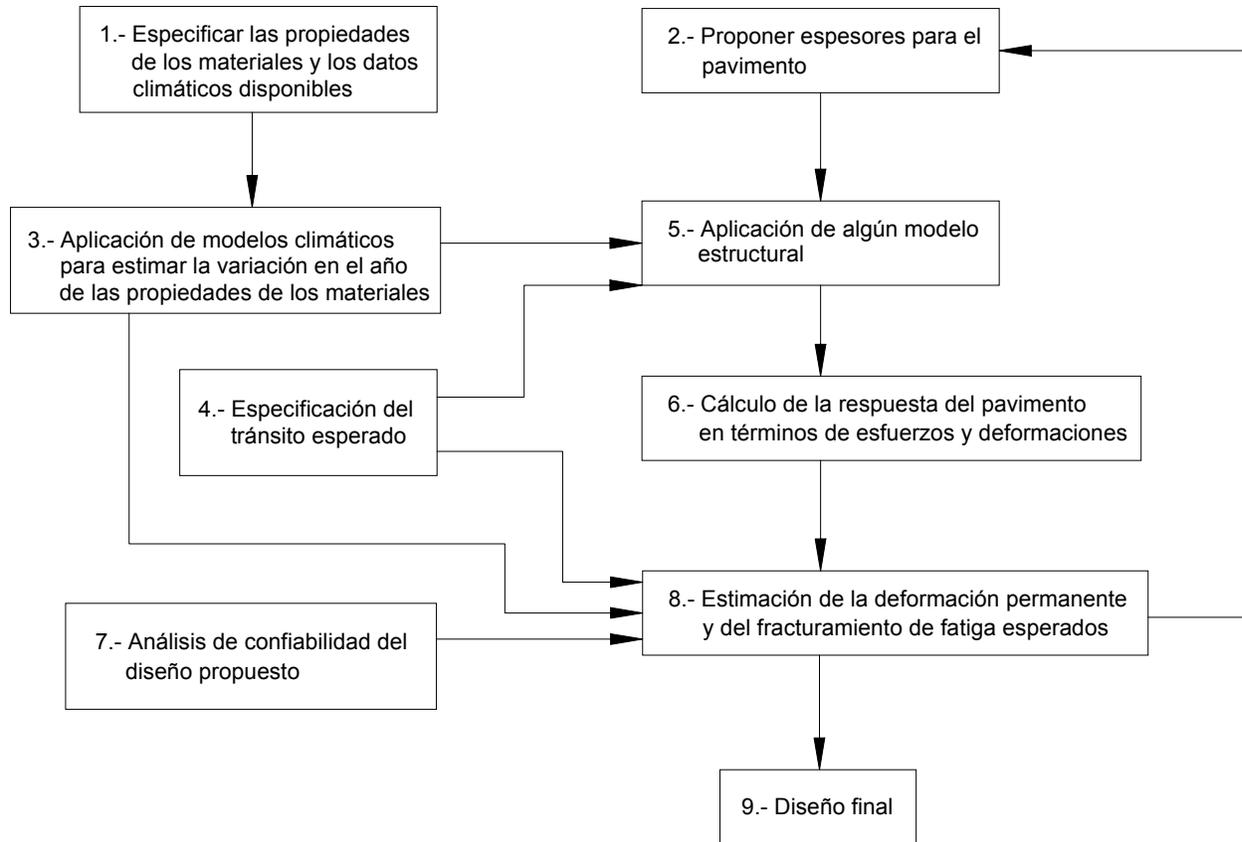
Adicionalmente a este inventario, longitudes considerables de pavimentos de concreto hidráulico han sido construidas en caminos estatales, libramientos urbanos, etc. Se han usado concretos con una resistencia a la flexión medida con la prueba de carga al centro de los claros que ha ido de 45 a 55 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Es conocido que una de las funciones de los agregados en una mezcla de concreto hidráulico es la de desplazar cierta cantidad de pasta de cemento (cemento más agua en el concreto), lo cual representa una ventaja económica en virtud de que el cemento es el material más caro de los materiales de que está constituido el concreto. Si adicionalmente, la distribución de tamaños de ese agregado produce el volumen mínimo de vacíos en la mezcla seca, podría concluirse que la cantidad de pasta de cemento que ocupará esos vacíos, tendrá el volumen mínimo posible.

Si a lo anterior se suma el hecho de que la pasta de cemento se adhiere químicamente con gran fuerza a la mayoría de los materiales, puede esperarse que el material resultante de la unión entre la pasta y los agregados presente una razonable homogeneidad e isotropía en todas direcciones. Aún más, si se aplica una fuerza longitudinal de compresión a una muestra formada con tal material, la deformación total que ocurra en la dirección de la fuerza, será directamente proporcional a la longitud de la muestra. Lo anterior permite visualizar de manera cualitativa que la resistencia de la muestra estará determinada por la capacidad de la pasta, teniendo la distribución granulométrica del agregado una influencia bastante menor.

Para detallar el procedimiento de diseño de un pavimento son necesarias una serie de consideraciones ya que es un proceso que implica una serie de verificaciones a la composición y calidad del pavimento hasta llegar a las especificaciones establecidas. En la Figura 2.2 se presenta la metodología general para el diseño de pavimentos.

**Figura 2.2 Metodología para el diseño de pavimentos**



### 3 DESCRIPCIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y TOXICOLÓGICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

En la construcción de pavimentos rígidos es indispensable la mejora continua de sus propiedades; una mejora en las propiedades del concreto es la incorporación de aditivos que favorezcan la estabilidad, durabilidad y seguridad, además de sus componentes básicos como son el agua, agregados pétreos y cemento por supuesto. Los aditivos pueden ser fibras de polipropileno, en las cuales resulta conveniente estimar la efectividad que tienen para absorber el agrietamiento por contracción plástica del concreto elaborado con materiales de la propia localidad y región. Se considera el hecho de que la fibra se ha adicionado a estas losas con el fin de proporcionar un mecanismo eficaz contra la formación de grietas, especialmente las generadas por contracción plástica, la cual se supone ha sido consecuencia de las condiciones atmosféricas y no de la calidad con la que se construyó el propio pavimento rígido. En la Tabla 3.1 se presenta la composición representativa de los concretos utilizados en las carreteras mexicanas.

**Tabla 3.1 Composición representativa de los concretos utilizados en las carreteras mexicanas**

CEMENTO TIPO 1	PROPORCIÓN
Cemento	340 Kg/m <sup>3</sup>
Agua	168 Kg/m <sup>3</sup>
Grava triturada 1 ½" de origen basáltico	557 Kg/m <sup>3</sup>
Grava triturada de ¾" de origen basáltico	456 Kg/m <sup>3</sup>
Arena de río	763 Kg/m <sup>3</sup>
Inclisor de aire	1.02 litros
Reductor de aire	0.102 litros

### 3.1 Descripción de los Materiales que Componen un Pavimento Rígido Típico

#### 3.1.1 Cemento

En el sentido general de la palabra, el cemento es un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Para efectos de construcción, el significado se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arenas, ladrillos, bloques de construcción, etc.

Los principales compuestos de este tipo de cemento son de cal, de modo que en construcción se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación de concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella y por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos.

Los cementos hidráulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse en general como cementos naturales, cementos Portland y cementos de alta alúmina.

El cemento Portland es un cemento que se obtiene de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, quemándolos a temperatura de formación de clinker y mezclando el clinker resultante, los principales componentes se presentan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Componentes principales del Cemento Portland**

NOMBRE	COMPOSICION DE OXIDO	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Además de los componentes principales citados en la Tabla 3.2, existen algunos componentes menores como  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ , que generalmente no sobrepasan de un pequeño porcentaje del peso del cemento. Dos de estos componentes menores revisten interés: los óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), conocidos como álcalis, aunque en el cemento existen otros tipos. Se ha encontrado que estos componentes reaccionan con algunos agregados y que los productos de esa reacción ocasionan una desintegración del concreto, además de esto, se debe destacar que el término “componentes menores” se refiere principalmente a la cantidad, pero no necesariamente a su importancia. Algunos de los componentes menores del Cemento Portland son: el corindón,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (tríoóxido de aluminio) y el cuarzo (Dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$ ).

### 3.1.2 Grava

Son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca y que tienen más de 2 mm de diámetro procedentes de la trituración artificial de la roca, las características de este material se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Características físicas de la grava y criterios de calidad**

<b>GRANULOMETRIA</b>		
<b>CLASIFICACION</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>% QUE PASA</b>
2"	5.08 cm	100
1 1/2"	3.81 cm	95-100
3/4"	1.90 cm	35-70
3/8"	0.95 cm	10-30
Núm. 4	4,760 um	0-5
<b>SUSTANCIAS PERJUDICIALES</b>		
Partículas Deleznables	0.25 %	
Partículas suaves	5 %	
Pedernal como impureza	1 %	
Carbón mineral y/o lignito	1 %	
<b>REQUISITOS DE CALIDAD</b>		
Desgaste "Los Angeles"	40%	
Intemperismo Acelerado	12%	

### 3.1.3 Arena

Arena es el nombre que se da a los materiales de grano fino, procedentes de la denudación o de la trituración artificial de la roca, cuyas partículas varían entre 0.05 y 2 mm de diámetro. En la Tabla 3.4 se presentan las características físicas y los criterios de calidad de la arena.

**Tabla 3.4 Características físicas de la arena y sus criterios de calidad**

<b>GRANULOMETRIA</b>		
<b>CLASIFICACION</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>% QUE PASA</b>
$\frac{3}{8}$ "	0.95 cm	100
Núm. 4	4,760 um	95-100
Núm. 8	2,380 um	80-100
Núm. 16	1,189 um	50-85
Núm. 30	600 um	25-60
Núm. 50	300 um	10-30
Núm. 100	150 um	2-10
Núm. 200	75 um	4 máximo
<b>SUSTANCIAS PERJUDICIALES</b>		
Partículas deleznable		0.01 %
Carbón mineral y/o lignito		0.01 %
<b>REQUISITOS DE CALIDAD</b>		
Equivalente de arena		80 % mínimo
Modo de finura		2.30 mínimo - 3.10 máximo

### 3.1.4 Agua

Líquido incoloro casi inodoro e insípido, esencial para la vida y considerado como el disolvente universal. Punto de fusión de 0 °C (32 °F), punto de ebullición de 100 °C (121 °F), gravedad específica (4 °C) 1.0, peso por galón 8.337 libras (a 15 °C). Las características del agua utilizada en la fabricación de concreto se presentan en la Tabla 3.5 siguiente.

Tabla 3.5 Características del agua utilizada en la fabricación de concreto

<b>SUBSTANCIAS PERJUDICIALES</b>	
Sulfatos (convertidos a $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	1000 ppm
Cloruros (convertidos a $\text{NaCl}$ )	1000 ppm
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50 ppm
Turbiedad y/o lignito	1500 ppm

### 3.1.5 Aditivos

Un aditivo es otro material que además del cemento, agregado y agua, se usa mezclándolo en el concreto para modificar sus propiedades y mejorarlo para el fin a que se destine.

Los principales cambios que sufre el concreto cuando se usan aditivos son:

- ❖ Inclusión de aire para la durabilidad, donde el aire es incluido en el concreto en forma de burbujas muy pequeñas, ya sea durante la fabricación del cemento o durante las operaciones de dosificación y mezclado.
- ❖ Reducción de agua para mejorar la calidad, aceleración o retardo del fraguado.
- ❖ Aditivos reductores de agua de amplio rango para el concreto de consistencia fluida que ayudan a colocar el concreto en estructuras “dúctiles”.
- ❖ Otras cualidades tales como resistencia, permeabilidad, trabajabilidad, sangrado y economía, pueden ser mejoradas cuando se usa el aditivo adecuado.

Los aditivos de un tipo determinado no siempre actúan en la misma forma, usualmente se comportan en forma semejante, pero en diferente grado y en algunas ocasiones con

resultados insuficientes o inesperados, la razón de esto es la gran variedad en la condición química de todos los ingredientes del concreto, particularmente del cemento y del agua, incluso los fabricantes prestan gran atención a fin de que sus aditivos sean productos que actúen con variaciones muy pequeñas; por ejemplo, la función del aditivo reductor de agua y retardante del fraguado del concreto es reducir el contenido de agua de mezcla necesaria para obtener una consistencia determinada, retardando el tiempo de fraguado para facilitar su colocación y fraguado.

### **3.2 Almacenamiento de Materiales**

En la elaboración del concreto en planta los materiales deben ser almacenados en cantidad suficiente para asegurar el funcionamiento continuo de la misma, por lo que generalmente se destinan amplios patios y en acumulaciones a granel.

Cabe aclarar que en la elaboración de pavimento rígido en obra no existe propiamente un almacenamiento, pero para evitar los viajes continuos hasta el banco de material o almacenes en planta, se pueden colocar los materiales en los camellones o montones de distintos tamaños en los lugares por pavimentar.

### **3.3 Equipo e Instalación**

- Planta central o estacionaria para la preparación del pavimento rígido. Las instalaciones centrales, se ubican estratégicamente de forma que los agregados puedan ser abastecidos fácilmente; es decir, por caminos transitables, distancias cortas y, en consecuencia, con menores costos. Las plantas estacionarias constan de tolvas o silos en donde son almacenados los agregados separados en los diferentes tamaños, en tolva separada para agua y un dispositivo para dosificarla.

- Mezcladores para preparación de pavimento rígido en obra. Existen grandes mezcladores que se van moviendo siguiendo el avance de la pavimentadora. El concreto se va colocando en los lugares donde se va a utilizar y su altura de caída no debe ser mayor de 40 cm para evitar la segregación del mismo. Una máquina mezcladora que se mueve sobre la sub-base consta de las siguientes partes esenciales:
- Tambor mezclador.
  - Cucharón que recibe la carga de los agregados y el cemento, que los descarga dentro del tambor mezclador.
  - Equipo para la medición del agua que entrará en el concreto.
  - Dispositivo que transportará el concreto recién mezclado de la descarga del mezclador a la sub-base.
  - Además, la mezcladora consta del equipo necesario sobre el que se mueve y con el que se maneja la máquina.
- Para realizar el acomodo, terminación y afinado del pavimento, generalmente se utiliza equipo que se conforma de un distribuidor de concreto al frente, un dispositivo nivelador, dispositivos de apisonado o vibrador y una máquina terminadora. Para efectuar la distribución o extendido del concreto existen diferentes mecanismos según el diseño de la máquina y pueden ser ya sea unas paletas, un tornillo sin fin o una pieza repartidora especial, la cual tiene un movimiento transversal al del avance de la máquina. Los dispositivos mencionados reparten el concreto y efectúan un remezclado al mismo tiempo. Posteriormente se realiza la nivelación generalmente con una viga enrasadora, la que regularmente está ensanchada en su parte inferior. Después de la viga niveladora, le sigue el dispositivo de compactación o consolidación del concreto que generalmente es por medio de vibración. El vibrador puede generar vibraciones superficiales o de inmersión. La viga que efectúa el vibrado superficial es más ancha en su parte inferior, consta de dos motores

eléctricos que giran en sentido contrario uno del otro para producir la vibración de la viga. Los vibradores de inmersión van colocados en serie a lo ancho del pavimento y con separaciones variables. Finalmente, se utiliza la máquina terminadora que puede constituirse de uno o dos dispositivos de acero que van alisando el concreto y ajustando la rasante final del pavimento.

De esta manera el extendido del concreto se ejecuta mediante un equipo de pavimentación que consta de un tornillo sin fin, barra enrasadora, vibradores, apisonadores, placa niveladora y allanadora de terminado. Normalmente todos estos componentes trabajan con sistemas hidráulicos.

- Finalmente, el acabado superficial de la superficie de rodamiento de pavimento rígido se realiza con una texturizadora que se encarga de dar la textura final que permite tener propiedades como ser antiderrapante, disminuye la brillantez y en general agrega seguridad a una superficie de rodamiento. Las partes principales de las texturizadoras son:
  - Unidad de alimentación: motor diesel con bomba para marcha de un sistema de tres bombas.
  - Bomba para el control direccional del equipo. Mediante una tubería se controlan los sistemas hidráulicos de cada una de las cuatro ruedas de que consta el carro.
  - Bomba auxiliar: es necesaria para controlar la dirección del equipo y las maniobras de acabado a ser realizadas por el operador.
  - Este tipo de equipos comúnmente cuenta con dirección automática; ello es a través de cuatro sensores. El operador también puede seleccionar la dirección

- automática y desde luego el equipo puede ser guiado de forma manual. La mayoría de estos equipos cuenta con motores individuales en cada llanta para guiar cada una de ellas.
- Las patas funcionan mediante un sistema hidráulico y tienen la capacidad de posicionarse en platos ortogonales entre sí y se retraen para ser transportadas en camiones. La elevación vertical de las patas puede realizarse manualmente. En algunos equipos la elevación es hasta de 60 cm sobre el pavimento.

## **4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO CON PAVIMENTOS RIGIDOS**

Para establecer la descripción de los procedimientos de construcción, se consideraron varias fuentes bibliográficas, de tal manera que fue posible complementar la información para estructurar un procedimiento general que abarca todos los aspectos involucrados en la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos rígidos y de esa manera, más adelante, cuantificar los impactos que pueden generarse al medio ambiente.

Como se mencionó en el Capítulo 2, los pavimentos de concreto construidos o en proceso de construcción en carreteras nacionales han utilizado dos tipos de pavimentos rígidos: concreto con pasajuntas (JRCP) y concreto simple (JCP).

### **4.1 Descripción del Proceso Constructivo y Estructura de Pavimentos Rígidos**

Un pavimento rígido se conforma únicamente de un soporte, que es la sub-base y la losa de concreto hidráulico. Dado que la capa de sub-base es un elemento muy importante para el comportamiento del pavimento de concreto, en cada caso se ha hecho un análisis cuidadoso para definirla, buscando siempre que proporcione un soporte adecuado. A la fecha se han utilizado tres tipos de sub-base:

- a) *Hidráulica*: Formada por agregados triturados con una buena distribución granulométrica, textura abierta, permeabilidad alta y resistencia mayor al 80% y con espesores de 15 a 20 cm.

- b) *Estabilizada*: Formada por materiales granulares mezclados con cemento Portland en una proporción aproximada de 4% de cemento en peso y resistencia mínima a la compresión axial simple de 21 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y espesor de capa de 20 cm.
- c) *Asfáltica*: Compuesta por una capa de 15 cm de mortero asfáltico fabricado en planta y con cemento asfáltico.

Para el tipo de pavimentos que se han construido en nuestro país, el contacto entre la losa y la sub-base es muy importante, ya que una fricción muy baja entre esas capas puede generar desniveles entre juntas, mientras que una fricción muy alta puede provocar agrietamientos en las losas.

Los tratamientos intercapa que más se han aplicado han sido a base de riegos de impregnación con emulsiones asfálticas que han funcionado muy bien en sub-bases hidráulicas, pero que han tenido problemas sobre las capas de suelo cemento debido a lo cerrado de la textura superficial, por lo que ha sido necesario colocar en algunas ocasiones membranas de geosintético; en el caso de las sub-bases asfálticas no se aplica tratamiento en la interfase de las capas.

A continuación se describen las actividades requeridas para la construcción de un pavimento rígido en planta estacionaria.

- ✓ Para la elaboración del concreto fresco, se utilizan plantas estacionarias con capacidad de producción de hasta 3,000 m<sup>3</sup> diarios, aunque el promedio que se ha tenido hasta ahora es de 1,800 m<sup>3</sup>. Con el uso de estas plantas, se obtiene un buen control del proporcionamiento de todos los materiales y del tiempo de mezclado.

- ✓ Para el transporte del concreto fresco se utilizan camiones no mezcladores, con caja revestida de lámina para evitar pérdidas de humedad o material y mecanismos que depositan la mezcla sin segregación.
- ✓ El colado de las losas se realiza a todo el ancho de la superficie por pavimentar, previo, se hace el perfilado de la superficie de la sub-base con equipo de tipo Trimmer y la colocación de la membrana interface (asfáltica o geosintética) si se requiere. Para el tendido se usan pavimentadoras autopropulsadas de cimbra deslizante que cuenta con un censor de nivel e insertan las barras de amarre de las juntas longitudinales. Los pasajuntas se colocan montados en silletas de acero, para evitar su desplazamiento durante el colado. En algunos tramos se está utilizando un equipo espaciador de concreto fresco para mejorar la operación de la pavimentadora.
- ✓ El acabado superficial se logra con dos acciones: una es el texturizado longitudinal con tela de yute y la otra, con un texturizado transversal con un ancho de 3.2 mm y profundidad media de 4.0 mm, hecho con un equipo automático.
- ✓ El curado de la losa se hace con un equipo irrigador automático que aplica una mezcla de agua y parafina de pigmentación blanca, generalmente en una proporción de un litro por metro cuadrado.
- ✓ Para el corte, la limpieza y el sellado de las juntas, se utilizan diferentes equipos menores.
- ✓ Cimbrado y descimbrado.

Para la aceptación de la superficie terminada, se hacen evaluaciones parciales por subtramo del perfil longitudinal del pavimento, dependiendo la especificación o

normativa a cumplir, se han fijado niveles de aceptación para todo el tramo, índices de perfil máximos obtenidos con el perfilómetro de California, del orden de 19.0 cm/Km.

#### 4.2 Descripción del Proceso de Producción de Concreto en Planta y en Obra

Los procesos de producción de concreto en planta y en obra, se resumen en los diagramas de la Figura 4.1 y a continuación se presenta una descripción detallada de cada uno, para facilitar la identificación de impactos generados al medio ambiente por la construcción y conservación de superficies de rodamiento de los pavimentos rígidos.

**Figura 4.1 Proceso de producción de concreto en planta y en obra**

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCION DE CONCRETO EN PLANTA

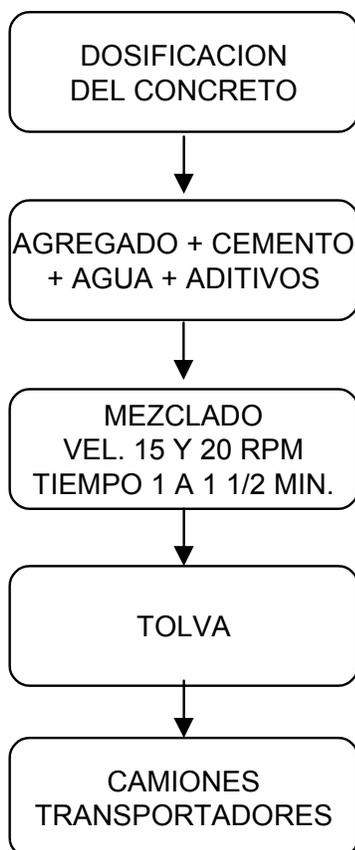
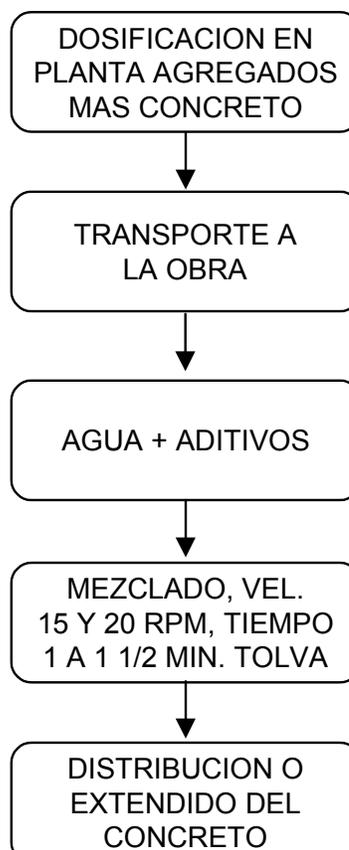


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCION DE CONCRETO EN OBRA



## Dosificación y mezclado

La dosificación y mezclado del concreto pueden efectuarse en una instalación central o en el lugar donde está llevándose a cabo la pavimentación. En ambos casos se realiza de acuerdo a la siguiente descripción y en la Figura 4.1 se puede identificar gráficamente el orden cronológico de las actividades.

### a) Preparación del concreto en planta central o estacionaria.

De las tolvas los materiales se van pesando y haciendo entrar al tambor mezclador. Es conveniente que primero se coloquen en la mezcladora los agregados, luego el cemento y por último el agua y el o los aditivos, si es que se recomienda usarlos. La mezcladora debe funcionar a la velocidad recomendada por el fabricante, pero regularmente está comprendida entre 15 y 20 r.p.m. Después de estar en el tanque mezclador todos los materiales, el tiempo de mezclado es de 1 a 1 ½ minutos. Una vez mezclados los materiales, el concreto pasa a una tolva, por debajo de la cual pueden llegar los camiones transportadores y ser cargados. En las plantas de importancia usadas en grandes colados, la instalación puede contar con 2 tambores de mezclado; mientras uno está completando el tiempo de mezclado, el otro se llena con las proporciones de materiales que están empleando.

### b) Preparación del concreto en obra.

El concreto puede ser elaborado en el lugar donde se está construyendo el pavimento, mediante máquinas que se mueven a lo largo del tramo. Para dosificar los materiales en la obra tiene que hacerse en peso, ya que en volumen no se lograría la exactitud requerida y las cantidades de materiales resultarían muy variables en proporción, por lo que se prefiere pesar y dosificar en seco los

materiales en instalaciones centrales y transportarlos a la obra en donde serán mezclados. Cuando la capacidad de los camiones que transportan los materiales es mayor que la mezcladora, las cajas de los camiones requieren de divisiones conformando compartimentos de la misma capacidad de una mezcladora. Los materiales secos son depositados en el cucharón, que es levantado por medio del cable con que cuenta la pavimentadora, de modo que los materiales se vayan deslizando hacia dentro del tambor mezclador. Se mide, se agrega el agua y se mezclan los materiales durante el tiempo apropiado. El concreto se descarga sobre un recipiente que cuenta con un dispositivo que lo puede mover en cualquier dirección delante de la pavimentadora y deposita el concreto en los lugares donde se necesite. La elección del tipo de dosificadora que debe emplearse, ya sea instalación central o en la obra, depende fundamentalmente de las condiciones del lugar y del factor económico de acuerdo con el volumen de concreto por colar.

En cualquiera de los dos casos se debe buscar siempre la eficacia en la fabricación de la mezcla y la uniformidad del concreto producido, que es la base para el buen resultado que se obtenga en la ejecución del pavimento.

### **Transporte del concreto**

El transporte del concreto elaborado en instalación central puede ser realizado, ya sea en camiones de volteo o en camiones-revolvedoras, siempre y cuando se mantenga la uniformidad en la mezcla. En los camiones normales o de volteo, se deben de tomar las precauciones necesarias ya que es muy fácil que en ellos se produzca la segregación del concreto. Hay que tomar en cuenta que el tiempo máximo desde que se agrega agua al concreto, hasta que éste queda tendido y compactado, no debe exceder normalmente de 1½ a 2½ horas, porque después de este tiempo se inicia el fraguado del concreto. Con clima caluroso el fraguado del concreto se inicia más rápido que con climas fríos, por lo que el tiempo que puede establecerse para la elaboración, transporte y colocación, será mínimo en climas cálidos y máximo en climas con bajas

temperaturas. Si las distancias de la planta a la obra son muy grandes, para evitar el fraguado inicial en el concreto puede ser usado un aditivo retardante del fraguado.

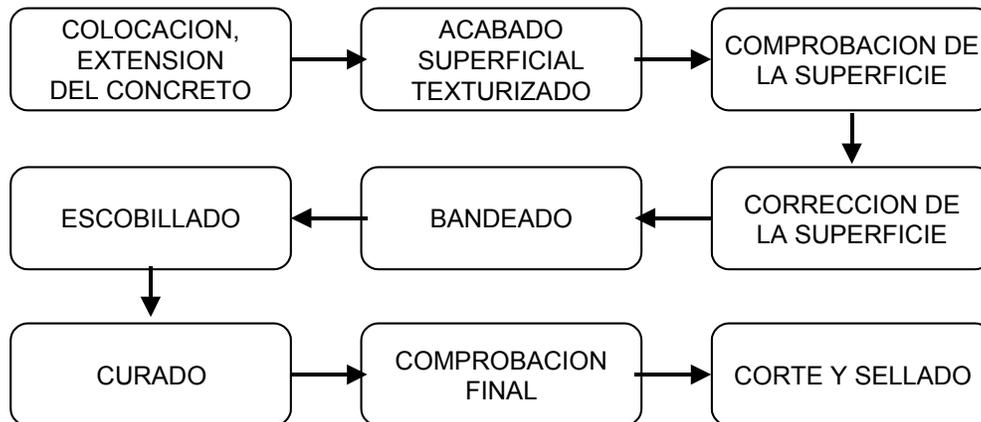
Para evitar en lo posible la segregación del concreto se coloca en los camiones de volteo unas láminas verticales con el objeto de dividir la masa y reducir la movilidad del concreto. Al momento de descargar los camiones, ya sean revolventoras o volteos, debe hacerse lo más cerca posible del lugar mismo donde será empleado, ya que se evita la segregación de los materiales que tiene lugar cuando se efectúan movimientos secundarios del concreto fabricado.

El transporte de la mezcla también puede ser en camiones de volteo con una caja plana para facilitar el vaciado del concreto, la cual debe estar equipada con vibradores para hacer esta operación más eficiente. La puerta trasera de la caja debe contar con un perno de seguridad para evitar el derrame del concreto durante su traslado a la zona de trabajo. Las cajas de los camiones deberán ser lavadas periódicamente durante el tiempo de operación para evitar acumulaciones del concreto en ella.

#### **4.3 Descripción del Proceso de Construcción de Superficie de Rodamiento de Pavimentos Rígidos**

De acuerdo con la información recopilada, se requieren de nueve etapas para la construcción de las superficies de rodamiento de pavimentos rígidos. En la Figura 4.2 se muestra la cronología de estas 9 etapas y posteriormente se describe cada una de ellas.

**Figura 4.2 Diagrama de flujo de procedimiento de construcción de superficies de rodamiento de Pavimentos Rígidos**



### **Colocación, extensión y vibrado del concreto**

Una vez transportado el concreto al lugar de empleo, deberá extenderse con el espesor necesario; para ello se depositará sobre la sub-rasante o sub-base, según el caso de que se trate, de tal forma que se requiera el mínimo posible de operaciones de manejo (que debe hacerse de preferencia en forma mecánica). Se acomodará el concreto contra las caras de los moldes y a lo largo de ellos con un vibrador de inmersión. En los casos en que la repartición del concreto deba hacerse a mano, se deberán usar palas y nunca rastrillos, con el fin de que ésta se haga lo más uniforme posible, evitando que los obreros caminen sobre el concreto fresco con las botas o zapatos cubiertos de tierra o de otros materiales extraños, a fin de no contaminar el concreto extendido.

Antes de colocarse el concreto, la sub-rasante o sub-base deberá estar preparada y aceptada de acuerdo con las especificaciones que se apliquen. Es conveniente que se preparen por lo menos 100 m de sub-base adelante del lugar donde se lleve el avance del concreto. Nunca se debe permitir el calado del concreto si la sub-base o sub-rasante se encuentra congelada.

Para dar el acabado definitivo a la losa se requiere del trabajo de una brigada conformada por tres obreros realizando esos acabados, pues la allanadora mecánica deja pequeñas irregularidades que es necesario ajustar, tales como zonas cacarizas y protuberancias, este personal contará con allanadoras de gran tamaño y manguillos lo suficientemente largos que les permitan alcanzar la parte media de la sección del pavimento.

Cuando se pretenda colocar los pasajuntas en juntas transversales de manera automática, es necesario conectar a la pavimentadora un dispositivo especial para este propósito. Algunos fabricantes incluyen una extensión de los brazos traseros de la pavimentadora; sobre éstos se colocan bastidores que sostienen horquillas, mismas que en sus extremos tienen la forma circular de las pasajuntas y que son empujadas por los bastidores dentro del concreto fresco. La velocidad del introductor automático de pasajuntas va en función, desde luego, de la velocidad de la pavimentadora. Las horquillas de inserción están sujetas a vibración durante el proceso de hincado, de esta manera se garantiza que toda la sección de acero quede rodeada de concreto y que esté convenientemente consolidado.

Al terminar el hincado de pasajunta, las horquillas y el bastidor se levantan por sobre la superficie del concreto fresco y el conjunto se mueve a su posición adelantada, para volver a ser utilizadas en la siguiente posición de juntas a través de gatos hidráulicos. Normalmente este procedimiento se realiza mediante equipo automatizado; sin embargo, el equipo permite que el operador pueda hacer la maniobra manualmente donde se requiera.

### **Acabado superficial (texturizado)**

El proceso de texturizado se realiza después de que ha pasado la allanadora mecánica, situada en la parte posterior de la pavimentadora, y una vez que el concreto esté próximo a perder el brillo se procede a dar la micro y macrotextura. La primera de

ellas se logra pasando pedacería de yute, a fin de eliminar la superficie lisa recién dejada en el concreto. Normalmente, esta tela se coloca ya sea en los brazos extensores localizados en la parte trasera o terminal de la pavimentadora, o bien en extensiones metálicas, a manera de bastidores en la parte delantera del carro o marco texturizador. Este cuenta en la parte inferior y trasera con ductos y salidas para la membrana de curado, que permite lograr una aplicación expedita y uniforme.

### **Acabado final**

Para efectuar el acabado final del pavimento existe necesidad de un cierto número de operaciones que se efectúan manualmente, como son:

- *Comprobación y corrección de la superficie.* Se efectúa por medio de una regla de madera de 3 m, que se colocará en posiciones paralelas al eje central del camino en contacto con la superficie, las distancias entre comprobaciones no deberán ser mayores de 1 ½ metros. Las depresiones que se encuentren deberán ser rellenadas inmediatamente con concreto fresco, enrasado, compactando y alisando la superficie a mano hasta que el nivel de la misma sea el especificado.
- *Bandeado.* Una vez hecha la compactación y corrección del pavimento se deberá pasar una banda de lona, de hule o de madera, haciendo movimientos en sentido transversal al eje del pavimento y con un avance rápido paralelo al eje.
- *Escobillado.* Efectuado el bandeado y tan pronto como el agua sobrante suba a la superficie, se deberá efectuar el escobillado del pavimento. El escobillado puede hacerse con una escoba de fibras plásticas o de acero; por medio de cepillos o con costales de yute mojados. Para cualquier caso que sea aplicado, las corrugaciones que queden en la superficie deberán ser uniformes en textura, ancho y con profundidades no mayores de 3 mm. La superficie después del escobillado deberá

quedar libre de zonas porosas, irregularidades y huecos que pueden ocasionarse al remover las partículas de agregado grueso en la superficie.

### **Comprobación final**

Después de realizar todas las operaciones anteriores deberá efectuarse la inspección final del pavimento, verificando que su alineación y elevación sean las especificadas, aplicando las tolerancias aceptadas dentro del proyecto o normatividad vigente.

### **Curado**

El curado es un tratamiento o protección que se da al concreto durante su período inicial de endurecimiento. Para efectuar el curado apropiado es necesario conservar la humedad y la temperatura adecuada en el concreto, a fin de que se efectúe la correcta hidratación del cemento evitando que se presenten contracciones inmediatas debidas a pérdidas rápidas de humedad o cambios bruscos en la temperatura media del concreto.

Se han efectuado diversas pruebas con las que se ha demostrado la importancia que se debe dar al curado del concreto, por los efectos que se han tenido al secarse más rápido mientras endurece y se ha visto que las resistencias a la flexión y al desgaste aumentan considerablemente si el curado se efectúa mediante un medio apropiado. Se ha comprobado también que si el curado no es efectivo durante los 3 primeros días de colado, se pierden resistencias del orden de 20% a la flexión y del 35% al desgaste; cuando el curado no es efectivo durante los primeros 7 días, estas pérdidas pueden llegar a ser del 30 y 40% respectivamente.

Se han estado usando diferentes métodos de curado del concreto y cualquier método puede llegar a dar resultados satisfactorios, siempre y cuando sean aplicados correctamente. Dentro de los métodos de curado más aplicados están los siguientes:

- ◆ *Con costales de yute mojado o mantas de algodón.*
- ◆ *Curado del pavimento manteniendo una lámina de agua.*
- ◆ *Curado por medio de tierra, arena o paja humedecidas.*
- ◆ *Curado con paja.*
- ◆ *Uso de papel impermeable para curado.*
- ◆ *Curado por medio de compuestos líquidos que forman una membrana impermeable.*

### **Corte y sellado**

Una vez terminados los trabajos de tendido, texturizado y curado, se deberá tener sumo cuidado sobre los siguientes aspectos.

- El concreto una vez tendido deberá ser protegido de cualquier tipo de tráfico o carga por un período de 5 a 12 horas, dependiendo de las condiciones climáticas, antes del corte y sellado de las juntas.
- Cuando el concreto haya alcanzado una resistencia suficiente como para soportar las llantas de las cortadoras, se podrá iniciar con el corte alternado de las juntas, cada 3ª a 4ª junta para controlar el agrietamiento transversal. Es importante que el corte inicial no se realice muy pronto para evitar el desmoronamiento del concreto fresco en el corte. El equipo de corte deberá estar en las mejores condiciones de trabajo, con los discos de corte adecuados y con alineación apropiada. El operador de la cortadora deberá saber el momento apropiado para el inicio del corte, ya que

esta operación es crítica. Una vez que se han cortado las juntas de control iniciales se podrá iniciar el corte de las juntas restantes que se dejaron atrás. En todas las juntas cortadas, iniciales, transversales y longitudinales, se deberá realizar un segundo corte hasta una profundidad de  $1/3$  el espesor de la losa.

- Una vez terminados los trabajos de corte se procede al sellado de las juntas, las cuales previamente deben ser limpiadas perfectamente para posteriormente colocar el becker rod y el sellador.
- Después del corte inicial, el pavimento deberá ser protegido inclusive de tránsito ligero, por 72 horas. Si se tienen carriles por pavimentar, el tren de pavimentación podrá correr por la nueva superficie a las 72 horas con ciertas restricciones y limitaciones para evitar daño a la superficie.

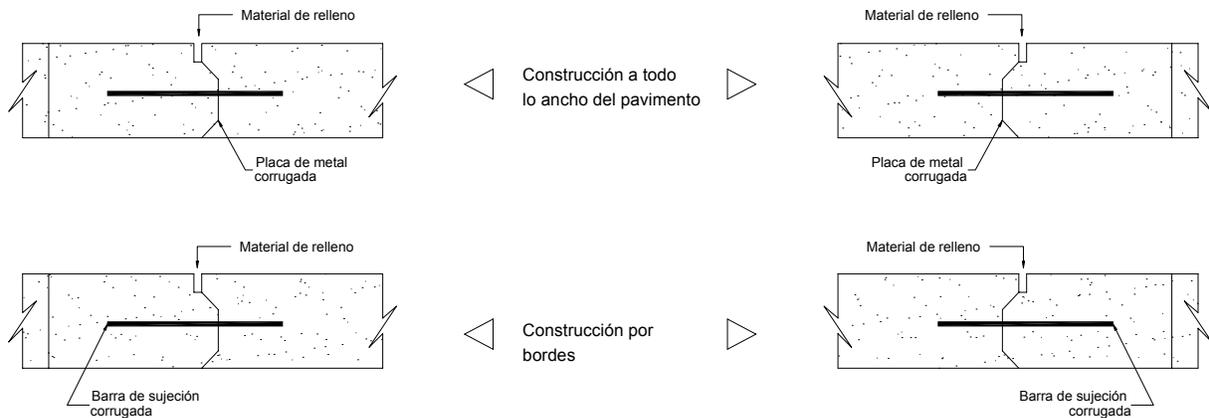
#### **4.4 Drenaje**

Las consideraciones de un buen drenaje en el diseño estructural de un pavimento son muy importantes. Si no se cuenta con un sistema confiable de drenaje, el agua comenzará a penetrar en la estructura del pavimento, saturando las capas que lo constituyen, lo cual propiciará la pérdida de valor de soporte, tanto de la capa de sub-base como la del terreno de cimentación.

#### **4.5 Juntas de Pavimento Rígido**

Se conoce por junta en un pavimento rígido a la unión construida entre dos losas consecutivas que interrumpen la continuidad de mismo (ver Figura 4.3); dependiendo de la disposición, forma e incluso aditamentos empleados en la construcción, las juntas de manera general, se clasifican en dos tipos: transversales y longitudinales (ver Figura 4.4).

**Figura 4.3 Juntas de pavimento de concreto**



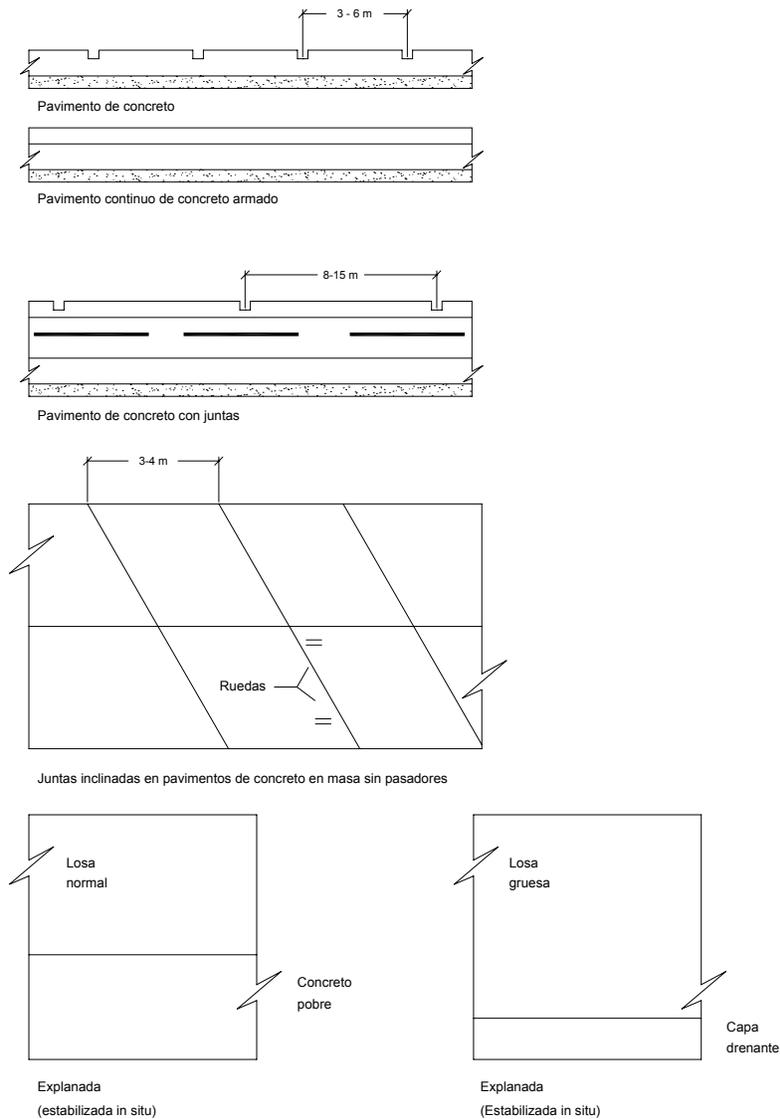
### Juntas transversales de contracción

La función de una junta de contracción es limitar los esfuerzos de tensión a esfuerzos permisibles. Cuando la losa se contrae por disminución de su temperatura media o de su humedad, debido al rozamiento con la sub-rasante aparecen esfuerzos de tensión. En la Figura 4.5 se presentan gráficamente las juntas de contracción y expansión.

Se conocen tres tipos básicos de juntas de contracción:

- Junta de Ranura.** La ranura se forma en la superficie del pavimento ya sea introduciendo temporalmente una tira metálica en el concreto, instalando un material de relleno para juntas a la profundidad que se requiera o cortando la superficie del pavimento por medio de una sierra de diamante. Las ranuras que se forman deben tener una profundidad de  $1/4$  a  $1/3$  del espesor de la losa, con lo que se forma un plano debilitado que provoca fisuras en la losa por los esfuerzos de contracción debidos al fraguado y a la disminución de temperatura, siguiendo la rotura una dirección vertical. Después que se forma la ranura con la sierra, debe de aplicarse un material sellador de juntas adecuado, que sea impermeable y se adapte a los movimientos de las losas en las juntas debidos a los esfuerzos que se producen.

**Figura 4.4 Tipos de juntas de pavimento de concreto**

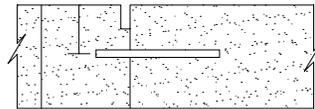


b) *Juntas de tira metálica.* Este tipo de junta se construye colocando sobre la superficie de apoyo de la losa una placa metálica o de otro material rígido e incompresible, lo cual provoca que se forme la grieta encima de ésta, la que deberá rellenarse posteriormente con material sellador de juntas.

c) *Junta a tope.* Se forma al colarse concreto contiguo a un concreto ya fraguado.

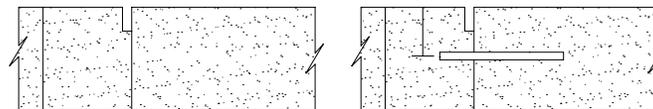
### Figura 4.5 Juntas de pavimento de contracción y expansión

Detalles recomendados de diseño  
para junta transversal de expansión en  
carreteras



Detalles recomendados de diseño de  
junta de contracción transversal para  
carreteras

Juntas de contracción tipo ranuras



### Juntas de Combedo, Alambeo o Articulación

Son llamadas así porque permiten un cierto giro angular entre dos losas consecutivas sin que exista una separación considerable entre ellas; para lo cual se deben colocar varillas de sujeción a través de las juntas. Previenen o disminuyen los esfuerzos producidos por el alabeo térmico de las losas. Las juntas a tope pueden convertirse en juntas articuladas si se colocan varillas para unir las losas adyacentes, es decir que se acoplan como piezas complementarias a las existentes.

### Juntas de Construcción

Son las juntas que se requieren cuando es interrumpido el colado durante determinado tiempo, ya sea por fallas en el equipo de construcción, retardo en la entrega de materiales o al finalizar una jornada de trabajo. Por lo general son juntas a tope, pero

hay casos en que pueden ser machihembradas, es decir, se complementa la nueva estructura con la existente como dos piezas de rompecabezas.

### **Juntas transversales de construcción**

Son juntas que se instalan al terminar la operación diaria de pavimentación o al ocurrir cualquier otro tipo de interrupción. Estas juntas se colocan de ser posible en el lugar donde se ha proyectado tener una junta definitiva.

### **Junta transversales de dilatación / juntas de aislamiento**

Son aquéllas que se colocan en lugares que permiten el movimiento del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) o el propio pavimento (ver Figura 4.5). Su función principal es proporcionar un espacio para que tenga lugar la expansión del pavimento y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que puedan causar daños en el mismo. Son el elemento más débil de los pavimentos rígidos y donde con más frecuencia se presenta el fenómeno de bombeo. Si se separan más las juntas de dilatación y se evita la dilatación libre de las losas, el pavimento queda sometido a un estado de compresión axial. Los esfuerzos de compresión que aparecen se aprovechan para disminuir en parte los de flexión, lo que sucede únicamente en los períodos en que las losas se dilatan y entran en compresión, que es cuando se originan los mayores esfuerzos debidos al alabeo térmico de las losas.

Las juntas de dilatación deben ser construidas en toda la profundidad del pavimento, la separación y el ancho será acorde a lo establecido en el proyecto. También son recomendables para las uniones del pavimento con otras estructuras y se consideran innecesarias cuando:

- Los materiales con que se construye el pavimento son de características normales de expansión.
- La construcción del pavimento se efectúa durante períodos del año en que las temperaturas son normales.
- Las juntas de contracción del pavimento están a distancias cortas para evitar que se formen en las losas grietas intermedias.
- Se conservan en forma adecuada las juntas de contracción para evitar que se introduzcan en ellas materiales incompresibles, como suelos finos que pueden ocasionar agrietamientos.

Las juntas de dilatación deben llevar elementos para transmitir cargas o pasadores por medio de varillas lisas de acero que, para efectos de proyecto, pueden usarse con diámetros de 20 a 25 mm y de 50 a 60 cm de longitud, pintándolos y engrasándolos en su parte media para que no se adhieran al concreto y poniendo un casquillo en uno de los extremos con el fin de que permita un movimiento libre.

### **Juntas Longitudinales**

Ocasionado por la frecuencia con que se han agrietado longitudinalmente los pavimentos de concreto, al construir carreteras con losas del mismo ancho, se acostumbra colocar por franjas que tengan el mismo ancho de un solo carril de circulación, para lo cual se forman las juntas longitudinales. Las juntas longitudinales, son a su vez juntas de construcción a tope, cuando el colado se efectúa por franjas separadas.

Si la construcción del pavimento se va haciendo a todo lo ancho o en más de una banda de circulación, se deben formar las juntas longitudinales con varillas de sujeción con la longitud y separación adecuadas. Actualmente por lo costoso que resulta la construcción de juntas, está tendiendo a desaparecer su fabricación.

### **Juntas longitudinales de contracción**

Son juntas que dividen los carriles de tráfico y controlan el agrietamiento en lugares donde se colocan dos o más secciones de un mismo carril simultáneamente y además unen carriles adyacentes de pavimento, que se encarpetan en diferentes épocas.

## **5 CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO DE PAVIMENTO RIGIDO**

En el pasado, los pavimentos en México frecuentemente se construían con materiales que hoy consideramos como inadecuados y con ellos se cubrían pequeños espesores, bajo los cuales aparecían suelos naturales, generalmente de préstamo lateral en terrenos inmediatamente aledaños a la carretera en construcción. Los materiales eran frecuentemente tan endebles que se consideraba que el agua y sus efectos eran sus enemigos principales, pues convertían en altamente deformables las secciones estructurales. Efectivamente, las carreteras se deformaban y tenían baches, lo que se veía reflejado en los costos de mantenimiento y los de operación. Conservar una carretera quiere decir mantenerla todos los años de su período de vida útil con la misma calidad de servicio que se planeó originalmente, haciendo frente a la acción de las cargas repetidas, que es hoy en día, la más notable causa de deterioro.

Existen varios métodos o procedimientos para la reconstrucción, conservación o mantenimiento de una carretera construida con pavimentos rígidos, dentro de los cuales los más comunes son los siguientes:

### **5.1 Rehabilitación**

Para la rehabilitación de pavimentos con objeto de reforzar la capacidad estructural de un pavimento y/o mejorar las condiciones superficiales, mediante la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico (Whitetopping), se deben considerar varios factores: deterioros existentes superficiales y un análisis detallado de los materiales y condiciones de las capas inferiores, como sub-base y subrasante; si los problemas son de fondo en tales capas, en poco ayudará la colocación de la sobre carpeta, sugiriéndose mejor otras soluciones, como reciclar o recuperar tales capas, reforzando la estructura con espesor de grava equivalente y sellando la superficie con carpeta a base de riegos asfálticos.

En el caso de existir solo los deterioros superficiales, se deberá definir cómo solucionar las deformaciones antes de colocar un whitetopping. Se pueden usar varios métodos: 1) barrido y colocación directa, 2) fresado y 3) colocación de una capa niveladora.

## **5.2 Renivelación con y sin Fresado**

Las distorsiones de la superficie pueden ser removidas utilizando una fresadora o un cepillo mecánico. Para dejar un perfil uniforme se requiere normalmente remover de 3 a 8 cm dependiendo del espesor del pavimento.

El fresado establece la rasante final y se puede ajustar la sección transversal como sea necesario por lo que una sobrecarpeta de concreto hidráulico se construye como si fuera sobre una rasante recortada. Este método incrementa el costo por los trabajos de fresado y los movimientos del material removido, pero es necesario si se requiere cumplir con normativa de rugosidad (Índice Internacional de Rugosidad, IRI).

## **5.3 Reciclado Parcial o Total de la Superficie de Rodamiento**

Consiste en el reaprovechamiento de los materiales que constituyen un pavimento viejo para elaborar uno nuevo. Con el reciclado de los pavimentos se han encontrado las siguientes ventajas:

- ❖ Los bancos de materiales cada vez están más retirados de las obras o los materiales de bancos cercanos son de más difícil extracción, lo que incrementa los costos de construcción del pavimento. En estos casos el reciclado de los materiales del pavimento viejo puede constituir un ahorro en el costo del pavimento nuevo.
  
- ❖ Se utilizan los procedimientos y el proyecto adecuados, la calidad del pavimento reciclado es similar a la de un pavimento nuevo.

- ❖ Ventajas ecológicas. En el mundo contemporáneo son un grave problema los tiraderos de desperdicios, por lo que la reutilización de los materiales de un pavimento viejo, reciclándolos, evita el problema de buscarles un lugar adecuado para colocarlos y ocasionar daños a la ecología del lugar. Adicionalmente, se protege al medio ambiente al reducir la explotación de más bancos de materiales.

El reciclado de los pavimentos rígidos consiste, en términos generales, en la demolición de la losa de concreto o áreas del pavimento rígido, que ya presentan fatiga o deterioros avanzados, utilizando equipos adecuados, tales como martinets hidráulicos o peras de acero accionadas con grúas. El siguiente paso es la trituración y cribado de los trozos de concreto así obtenidos; si la losa de concreto vieja contiene acero de refuerzo, será necesario eliminarlo antes de la trituración. Por último, el concreto triturado y cribado pasa a formar parte como agregado pétreo del nuevo concreto. Es necesario proyectar la mezcla del nuevo concreto con base en nuevas pruebas de laboratorio, para obtener la resistencia y espesor adecuados que debe tener el pavimento nuevo.

#### **5.4 Deterioros Varios**

Para el caso de los pavimentos rígidos elaborados con concreto hidráulico, aún suponiendo que el diseño y la construcción fueros los adecuados, los factores climáticos y la repetición de cargas de los vehículos que sobre tales pavimentos transitan, provocarán deterioros mayores o menores, que los ingenieros responsables de la conservación deberán atender si se desea mantener niveles de servicio óptimos a lo largo de la vida útil de una obra.

En iguales condiciones de diseño y uso, es común que los pavimentos rígidos en

comparación con los flexibles de asfalto, presenten menos deterioros y por lo mismo requieran menos mantenimiento. Sin embargo debido a lo citado en un principio, son comunes los agrietamientos longitudinales, agrietamientos transversales, desconchamiento, desprendimiento de agregados, etc.

La metodología actual en materia de conservación, indica que el procedimiento razonable para corregir sea el rellenado, previa limpieza de las grietas, con materiales tales como lechada de mortero, asfaltos o resinas, acciones que protegerán el paso del agua hacia las capas inferiores o el bombeo hacia la superficie de la capa de sub-base.

## 6      **NORMATIVIDAD**

Para prevenir el deterioro del medio ambiente y fomentar el bienestar del hombre se cuenta con una serie de técnicas entre las que se encuentra la manifestación del impacto ambiental, que tiene por objeto evaluar los efectos a corto y largo plazo, de cualquier obra o acción propuesta por el sector público, privado y social que modifique las condiciones originales prevalecientes.

Para elaborar un estudio de impacto ambiental de un proyecto determinado, es necesario conocer los antecedentes del proyecto, sus características y efectos a través de:

- Inventarios de fuentes y emisiones.
- Monitoreo ambiental.
- Aplicación de leyes y reglamentos.

El conocimiento de leyes, reglamentos y elementos normativos aplicables a los estudios de Impacto Ambiental, es fundamental cuando se descubre que la situación del deterioro ambiental ha sido causada en buena medida por deficiencia en la aplicación de los controles normativos, por ser incompletos y en ocasiones inoperantes, dadas las condiciones reales prevalecientes en el país.

A continuación se presenta un marco general de dicha normatividad, es conveniente mencionar que únicamente se consideran los artículos e incisos relacionados con las actividades involucradas en la construcción y mantenimiento de superficies de rodamiento, específicamente para los pavimentos rígidos.

Con base en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Gaceta Ecológica, otoño, 1996), en el Título Primero. Disposiciones Generales, Capítulo IV Instrumentos de la Política Ambiental, Sección V. Evaluación del Impacto Ambiental, se establece en el Artículo 28, que la evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras o actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente; menciona las obras que están obligadas a realizar este procedimiento, entre las que se encuentran las vías generales de comunicación.

En el Artículo 30 de la misma Ley se plantea como requisito para obtener la autorización para la realización de una obra, presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental y el contenido mínimo de la misma. Asimismo se establece que deben presentarse informes sobre cualquier modificación al proyecto original.

En el Artículo 34 se establece que una vez que la SEMARNAT reciba una manifestación de impacto ambiental e integre el expediente correspondiente, pondrá ésta a disposición del público, con el fin de que pueda ser consultada por cualquier persona.

El Artículo 35, establece que una vez presentada la manifestación de impacto ambiental, la SEMARNAT iniciará el procedimiento de evaluación, para lo cual revisará que la solicitud se ajuste a las formalidades previstas en esta Ley, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas aplicables, e integrará el expediente respectivo en un plazo no mayor de 10 días.

En el Artículo 35 Bis se marca que la Secretaría, dentro del plazo de 60 días contados a partir de la recepción de la manifestación de impacto ambiental, deberá emitir la resolución correspondiente.

La SEMARNAT podrá solicitar aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones al contenido de la manifestación de impacto ambiental que le sea presentada, suspendiéndose el término que restare para concluir el procedimiento. En ningún caso la suspensión podrá exceder el plazo de 60 días, contados a partir de que ésta sea declarada por la Secretaría, siempre y cuando le sea entregada la información requerida.

Excepcionalmente, cuando por la complejidad y las dimensiones de una obra o actividad la SEMARNAT requiera de un plazo mayor para su evaluación, éste se podrá ampliar hasta por 60 días adicionales, siempre que se justifique conforme a lo dispuesto en el reglamento de la presente Ley.

En el Título Segundo. Biodiversidad, Título Tercero. Aprovechamiento Sustentable de los Elementos Naturales, Capítulo II. Preservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos. Según el Artículo 98, inciso VI, se considerarán, entre otros criterios, que la realización de las obras públicas o privadas que por sí mismas puedan provocar deterioro severo de los suelos, deben incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de su vocación natural.

En el Artículo 99, fracción XI, se establece que los criterios ecológicos para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo deberán aplicarse durante las actividades de extracción de materiales de subsuelo; la exploración, explotación, beneficios y aprovechamiento de sustancias minerales; las excavaciones y todas aquellas acciones que alteren la cubierta y suelos forestales.

En el Capítulo III. De la Exploración y Explotación de los Recursos no Renovables en el Equilibrio Ecológico, Artículo 108, fracciones I, II y III, se establece que la SEMARNAT expedirá las normas oficiales mexicanas que permitan proteger los elementos naturales como suelos, flora, fauna silvestre y agua, para prevenir y controlar los efectos adversos generados por la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico e integridad de los ecosistemas.

En el Título Cuarto. Protección al Ambiente, Capítulo II. Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, artículos 110 y 111, se establece que la SEMARNAT, en coordinación con otras instituciones como la Secretaría de Salud y la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, tiene la facultad de emitir las normas oficiales correspondientes para que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, asimismo se establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles.

En el Título Cuarto. Protección al Ambiente, Capítulo VI. Materiales y Residuos Peligrosos, Artículo 150, se establece que en la presente Ley, su Reglamento y Normas Oficiales que expida la Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, de Comunicaciones y Transportes, de Marina y de Gobernación, se emitirá un listado de materiales y residuos peligrosos que contenga los criterios y listados que clasifiquen los materiales y residuos peligrosos identificándolos por su grado de peligrosidad y considerando sus características y volúmenes, así como la regulación del manejo de esos materiales y residuos según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, re-uso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

El Artículo 152. Bis establece que cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva.

En el Capítulo VIII. Ruido, Vibraciones, Energía Térmica y Lumínica, Olores y Contaminación Visual, Artículo 155, se menciona que están prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas que para ese efecto expida la SEMARNAT, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente que determine la Secretaría de Salud. Las autoridades federales o locales, según su esfera de competencia, adoptarán las medidas para impedir que se transgredan dichos límites y en su caso, aplicarán las sanciones correspondientes. Para evitar tal situación en la construcción de obras o instalaciones que generen energía térmica o lumínica, ruido o vibraciones, así como en la operación o funcionamiento de las existentes, deberán llevarse a cabo acciones preventivas y correctivas para evitar los efectos nocivos de tales contaminantes en el equilibrio ecológico y el ambiente.

Aún cuando las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, aplican para centros de trabajo limitados a un área de trabajo en instalaciones como fábricas, talleres, entre otros, es útil considerar algunas muy específicas para mejorar las condiciones de seguridad de los trabajadores durante la construcción de carreteras, una de esas normas es la NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-005-STPS-1993. RELATIVA A LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LOS CENTROS DE TRABAJO PARA EL ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MANEJO DE SUSTANCIAS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES, en la cual se pide:

- ✓ Elaborar por escrito los procedimientos de seguridad para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles del centro de trabajo.
- ✓ Capacitar y adiestrar a los trabajadores en el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles del centro de trabajo.
- ✓ Dotar a los trabajadores del equipo de protección personal de acuerdo al riesgo específico.
- ✓ Identificar las zonas de riesgo de incendio, tomando en consideración lo siguiente:
  - a) Las características físicas y químicas de las sustancias.
  - b) Los procesos y procedimientos de trabajo.
  - c) Las instalaciones, maquinaria y equipo.
  - d) Las temperaturas del medio ambiente laboral.
  - e) Cantidad de sustancias inflamables y combustibles que se almacenen, transporten y manejen.

En los edificios o locales para el almacenamiento de sustancias inflamables o combustibles, se debe evitar que estas sustancias puedan calentarse por exposición a fuentes naturales o artificiales de calor, así como la presencia de fuentes de ignición.

Otra norma a considerarse es la NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-017-STPS-1994. RELATIVA AL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL PARA LOS TRABAJADORES

EN LOS CENTROS DE TRABAJO, en la cual se establece que es necesario elaborar por escrito y conservar los estudios y análisis del riesgo para determinar el uso del equipo de protección personal.

Para la selección del equipo de protección personal deben considerarse las siguientes actividades:

- a) Establecer las características de acuerdo a los requerimientos del equipo de protección personal.
  
- b) Proporcionar a los trabajadores la capacitación y el adiestramiento necesario para el uso, limpieza, mantenimiento, limitaciones y almacenamiento del equipo de protección personal.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha emitido una serie de normas en las cuales describe de manera detallada los procedimientos para evaluar, tanto la calidad de los materiales empleados en la construcción y mantenimiento como los procedimientos de construcción mismos; los documentos son muy extensos y para fines prácticos, el presente trabajo se limita a mencionarlos, aún cuando han sido empleados para obtener información sobre algunos aspectos incluidos en éste.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes 1991. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos I. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1992. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos II, Tomo II. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1990. Normas para Construcción e Instalaciones. Carreteras y Aeropistas. Pavimentos. Subsecretaría de Infraestructura México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos II, Tomo I. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1994. Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras. Subsecretaría de Infraestructura. México, D.F.

Servicio de Obras Públicas, 1971. Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras Mexicanas. SCT. México, D.F.

## 7 IDENTIFICACION DE IMPACTOS

La identificación de los impactos ambientales es fundamental para incorporar cualquier proyecto a su entorno. Para lograr una adecuada identificación de los mismos existe una amplia gama de técnicas, que van desde las más simples, en las que se evalúa cualitativamente el grado de afectación generado, determinando los principales impactos (frecuentes y/o importantes), hasta las de mayor complejidad donde se evalúan los impactos cuantitativamente en función de factores como antecedentes de otros estudios, investigaciones específicas y principalmente la experiencia de los evaluadores del impacto. Cualquier técnica que se emplee debe considerar básicamente el entorno ambiental donde se pretende insertar el proyecto y las características del mismo. La finalidad ideal que se persigue al aplicar las técnicas de análisis es cubrir las tres etapas del estudio: identificación, predicción y evaluación. En la Tabla 7.1 se describe cada una de estas etapas y su función analítica.

**Tabla 7.1 Etapas de un estudio de impacto ambiental**

ETAPA	FUNCION ANALITICA	DESCRIPCION
Identificación	Descripción del sistema ambiental existente. Determinación de los componentes del proyecto. Definición de las alteraciones del medio causadas por el proyecto (incluyendo todos los componentes).	Consiste en identificar separadamente las actividades del proyecto que podrían provocar impactos sobre el ambiente en las etapas de selección y preparación del sitio; construcción, operación y mantenimiento; y abandono al término de la vida útil. Asimismo se identifican los factores ambientales y sus atributos que se verían afectados.
Predicción	Estimación de las alteraciones ambientales significativas. Evaluación del cambio de la probabilidad de que ocurra el impacto.	Consiste en predecir la naturaleza y extensión de los impactos ambientales de las actividades identificadas. En esta fase se requiere cuantificar con indicadores efectivos el significado de los impactos.
Evaluación	Determinación de costos y beneficios en los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto. Especificación y comparación de relaciones costo/beneficio entre varias alternativas.	Consiste en evaluar los impactos ambientales cuantitativa y cualitativamente. De hecho, la política de estudiar los efectos en el ambiente carecería de utilidad si no se contara con una determinación cualitativa y cuantitativa de los impactos

### 7.1 Técnicas de Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales

En la Tabla 7.2 se describen las técnicas de identificación de impactos más frecuentemente utilizadas en proyectos carreteros, así como algunas otras que pueden apoyar de manera importante en el establecimiento de nuevos factores a considerar en dichas evaluaciones.

**Tabla 7.2 Técnicas para identificar, predecir y evaluar impactos ambientales**

TECNICA	DESCRIPCION
Procedimientos pragmáticos	Comité interdisciplinario de especialistas
Listados	Lista estandarizada de impactos asociados con el tipo de proyecto.
Matrices	Listas generalizadas de las posibles actividades de un proyecto y de los factores ambientales afectados por más de una acción.
Redes	Trazado de ligas causales.
Modelos	Conceptuales.- Describe las relaciones entre las partes del sistema. Matemático.- Modelo conceptual cuantitativo. Simulación en computadora.- Representación dinámica del sistema.
Sobreposiciones	Evaluación visual de la capacidad ecológica anterior y posterior al proyecto.
Procedimiento adaptativo	Combinación de varias técnicas.

A continuación se describen brevemente las técnicas de identificación de impactos utilizadas más frecuentemente de acuerdo con la literatura sobre el tema y con base en la revisión de las Manifestaciones de Impacto Ambiental para proyectos carreteros consultados para la realización del presente documento.

### **7.1.1 Procedimiento Pragmático o Métodos Ad hoc**

Consiste en integrar un grupo de especialistas en diferentes disciplinas para identificar impactos en sus áreas de especialidad (por ejemplo: flora, fauna, contaminación, aspectos económicos), buscando satisfacer los requerimientos de la legislación ambiental vigente en el sitio del estudio, referentes a la evaluación de impactos. En

esta metodología no se definen parámetros específicos que deben ser investigados ni se realiza una evaluación formal de la magnitud de los impactos, parten del conocimiento y experiencia del equipo realizador del estudio, que le permite identificar las distintas alteraciones analizando el efecto que cada acción del proyecto ocasiona sobre cada elemento del medio.

### **7.1.2 Listas de chequeo**

En esta técnica se parte de una lista maestra de factores ambientales y/o impactos seleccionándose y evaluándose aquellos impactos esperados para el proyecto y sus acciones específicas. Este tipo de listas se elabora con un criterio interdisciplinario para identificar las acciones del proyecto que puedan causar impactos significativos, no relevantes o sin interés. Los listados pueden complementarse con instrucciones de la forma de presentar y usar los datos, además de inclusión de criterios explícitos para cuantificar estos impactos o identificar interacciones secundarias o terciarias.

Son listas en las que se recogen los posibles impactos que de forma general pueden derivarse de una acción concreta. La ventaja principal de estas listas, es que ayudan a contemplar todo el conjunto de efectos de forma sintética. En cuanto a los problemas que presentan derivan de que pueden ser muy generales o estar incompletas; no muestran interacciones entre los impactos; puede ocurrir que en algunos casos el mismo impacto se recoja bajo varios encabezamientos; la identificación de los efectos es cualitativa y no recogen la probabilidad de que ocurra el impacto señalado.

### **7.1.3 Matrices causa - efecto**

Las listas de posibles impactos de una acción se convirtieron en listas o matrices de doble entrada, en las que en el segundo de los ejes se compone considerando las acciones parciales que la realización del proyecto exige. Las matrices pueden ser

utilizadas, al igual que las listas de chequeo, únicamente para identificar los impactos, o también para evaluar los impactos.

Las matrices de doble entrada presentan los mismos problemas que las listas de chequeo, ya que en esencia son un conjunto de listas para diferentes acciones.

Para paliar algunos de los problemas que se presentan en las matrices causa - efecto, como el de no mostrar las relaciones existentes entre los diferentes impactos, diversos autores han indicado variaciones a estas matrices, en las que ponen de manifiesto las interacciones, llamando a estas Matriz de Interacción. En estas matrices se enfrenta una lista de aspectos del medio que resultarán alterados resaltando los casos de interacciones.

#### **7.1.4 Redes de interconexión**

Identifican los impactos poniendo de manifiesto no sólo los efectos directos sino también los indirectos y las relaciones de unos efectos con otros. Se suelen presentar estas relaciones de una forma gráfica mediante líneas de interconexión entre unos efectos y otros, componiendo de esta forma una red o malla de la que deriva su denominación genérica.

### **7.2 Técnicas Complementarias**

Entre las diversas metodologías para la evaluación del impacto ambiental desarrolladas en los últimos años, se distinguen las siguientes cinco que se aplican de acuerdo con la información disponible y las necesidades de cada caso: 1) gráfica, 2) mapas digitales, 3) modelos, 4) matrices y 5) contabilidad social.

Debe aclararse que cualquiera de estas metodologías solamente ayuda a tomar decisiones planteando, jerarquizando y estructurando las opciones disponibles y las consecuencias de cada acción, y que la solución depende fundamentalmente de la sensibilidad, intuición y criterio de los evaluadores. Por esta razón, el perfil profesional y la experiencia del evaluador debe estar de acuerdo con el tipo de proyecto a analizar, así como la confrontación de sus evaluaciones con expertos en otras disciplinas; es decir, mesas de trabajo interdisciplinarias.

### **7.2.1 Método gráfico**

Uno de los métodos usuales para superar las limitaciones de los análisis tradicionales de evaluación es el gráfico, que permite introducir nuevos elementos en el proceso de selección de la ruta, como son: la conservación de los recursos naturales, la preservación del paisaje, la protección de los diversos tipos de uso del suelo, la cohesión de las comunidades y la prevención contra diversas formas de contaminación, entre otros.

El método es simple, directo, totalmente gráfico y requiere solamente análisis visual. Se basa en el manejo de información distribuida en dos columnas: en una se consignan las diversas clases de beneficios y ahorros derivados del proyecto, tanto monetarios como no monetarios y en la otra, coincidiendo con cada una de dichas clases, se encuentran los costos, que complementan la estructura de la relación beneficio-costos.

Cada variable afectada por la construcción del camino, como la cohesión de la comunidad o de la calidad del paisaje, y cada variable que afecta la construcción del camino, como la topografía desfavorable o la falta de materiales de construcción, se presenta por separado en un mapa básico, dibujado en color gris y con el tono más oscuro, las áreas en donde se registran los valores más altos los costos más elevados, reduciendo progresivamente el tono, conforme los valores o los costos decrecen, hasta

llegar al color blanco en las áreas en donde los valores son mínimos o se incurre en los menores costos. La graduación y los sistemas de medida cambian de una variable a otra a juicio del evaluador. Desde luego, el sistema de medida de cada variable debe determinarse con toda claridad a fin de que sea significativa para otras personas que consulten los mapas.

En general, el análisis debe realizarse considerando sólo tres categorías: alta, intermedia y baja. Por ejemplo, en el mapa de áreas de pendientes del terreno, las categorías pueden ser: 1) mayores de 10 por ciento, 2) entre 10 y 2.5 por ciento y 3) menores de 2.5 por ciento. En el caso de drenaje natural, las categorías de las áreas pueden ser: a) ríos, arroyos, lagos, lagunas, etc. b) cauces y zonas de drenaje natural y c) libre de aguas superficiales y rasgos pronunciados de drenaje. En cuanto al mapa de calidad de paisaje podrían mostrarse las zonas: 1) gran valor escénico, 2) ciertos elementos escénicos y 3) urbanizados con reducido valor escénico.

Después de preparados los mapas se sobreponen formando un mapa compuesto que tiene áreas sombreadas en diferentes tonos, dependiendo de los tonos de todos los componentes, correspondiendo las áreas con tonos más claros a las de menor costo social. Este mapa compuesto permite analizar las diferentes opciones de ruta previamente consideradas o generar una nueva ruta a través de las áreas más claras del mapa. Las ventajas del método radican en su simplicidad, que facilita el análisis preliminar del problema y permite comparar opciones en forma cualitativa y aproximada.

### **7.2.2 Método de mapas digitales**

Este método, que también es de aplicación corriente en problemas de evaluación ambiental, no es más que una versión mecanizada del método gráfico destinada a superar algunas de las limitaciones de éste por medio del cómputo. Además de

representarse en mapas y exponerse en forma desplegada, la información recabada por este método se codifica en formas continuas para alimentar a la computadora. De esta manera es posible formar mapas digitales de cada uno de los factores que se están analizando y producir automáticamente, por medio de la computadora, un plano compuesto que sustituye con ventaja al resultante de las sobreposiciones manuales del método gráfico.

### **7.2.3 Método de modelos de uso del terreno**

Una de las respuestas a las limitaciones que presentan las técnicas de investigación del impacto ambiental por medio de mapas, es el avance que se ha logrado aplicando el método de modelos de uso del terreno.

En los modelos de evaluación del uso del terreno se investigan y estructuran las interacciones entre los propios usos del terreno, los aspectos bióticos, las actividades económicas, la infraestructura existente, las políticas de desarrollo y los proyectos, para tratar de reproducir las condiciones reales. En un modelo correctamente complementado pueden hacerse simulaciones para probar los cambios que ocurren en el sistema y detectar los impactos que producirían las opciones en estudio. Si se introduce en el modelo el factor tiempo, es posible observar la dinámica de los cambios. Para la asignación de los valores alternativos del impacto, se han desarrollado algunos métodos específicos de las mismas suposiciones y los agregados que aparecen en el caso de los análisis costo – beneficio.

Un método ilustrativo por sus alcances, es la evaluación de las alternativas de alineamiento de una carretera, realizado por el Instituto de Ecología de Georgia en Estados Unidos, mediante 56 componentes ambientales. En este método se usan también índices normalizados a fin de deducir un índice agregado para cada una de las alternativas consideradas. La principal diferencia entre ambos métodos consiste en que

en éste se usan valores grabados a corto y largo plazo para cada uno de los impactos pronosticados (por ejemplo, la eliminación de una determinada área de coníferas a lo largo del alineamiento). Además cada una de las estimaciones comprende la definición de un error estimado para los diferentes factores, a fin de aumentar la precisión de las alternativas.

Este método tiene como principal propósito producir un índice agregado de impacto ambiental único para cada alternativa a fin de poder compararlas. En el proceso de generación de este índice agregado, no se definen muchas de las más importantes cuestiones concernientes al peso relativo asignado a las variables incluidas en el análisis y a los métodos de pronóstico de los valores determinados. Los valores seleccionados para gravar cada uno de los factores ambientales, fueron determinados mediante debates entre los grupos interdisciplinarios respectivos; pero las memorias no aclaran si los valores finalmente recomendados son el resultado de un consenso de los propios grupos de estudio, ni como fueron resueltos los desacuerdos sobre los valores relativos de estos factores, con la circunstancia de que la parte más importante de estos métodos es precisamente la deducción del índice agregado, por el significado que este valor tiene en el conjunto.

Otro problema resultante de la aplicación de estos métodos, es la utilidad práctica que pueda tener un índice agregado, tanto para representar el valor total del impacto que resultará de un proyecto, como para facilitar la evaluación de alternativas en el proceso de toma de decisiones. En todos los casos, resulta dudoso que un solo índice proporcione mejor percepción de la naturaleza interna de un proyecto que la relación costo – beneficio. Por otra parte, este índice tiende claramente a ocultar los impactos que pueden ser especialmente significativos dentro del medio ambiente en que se propone el proyecto. En esta forma, ningún método proporcionará suficiente información al personal que toma decisiones, para determinar los impactos ambientales característicos que debe considerar en el caso de cada alternativa del proyecto.

Finalmente, conviene mencionar el método de evaluación desarrollado por la Atomic Energy Comisión de los Estados Unidos de América, para plantas de energía nuclear. Después de presentar una lista de confrontación de factores específicos que deben ser tomados en cuenta, propone para cada factor (por ejemplo, preparación del sitio) la población y los recursos afectados (los habitantes, la vida silvestre, el suelo); una descripción del efecto (por ejemplo, deterioro de la calidad deseable del ambiente debido al ruido y a las actividades constructivas); la unidad de medida del impacto (hectáreas, visitantes por año, etcétera). También propone métodos para calcular un indicador del impacto (por ejemplo, estimación del número de residencias, escuelas, hospitales, comprendidos en el área de impacto visual o auditivo). Debido a que este método es explícito acerca de las medidas cuantitativas que deben utilizarse para evaluar los impactos y métodos que deben usarse para calcular estos indicadores, proporciona un medio de intercomunicación en el ámbito técnico entre los profesionales que realizan actividades concernientes a los impactos de los proyectos. El formato de resumen que se utiliza en este método también facilita la comparación directa de alternativas para un gran número de consideraciones técnicas. Este método no prevé el agregado de impactos, pero combinado con otro enfoque puede sentar las bases para emprender los procesos de revisión.

#### **7.2.4 Métodos de pronóstico**

Los métodos de pronóstico aplicables en la determinación de los valores de impacto en el medio, están sujetos a las limitaciones de los avances tecnológicos en la materia. Por esta razón, es práctica frecuente el recurrir a la experiencia, al criterio profesional o al razonamiento intuitivo para prever y pronosticar los impactos de los proyectos en el ambiente.

Los modelos matemáticos de simulación, que se usan en forma sistemática en otra clase de problemas, son incipientes en la valoración del impacto en el ambiente, debido principalmente a la escasez de información confiable y de expertos en la materia, problema generalizado en prácticamente todos los países. Por lo que se refiere a los análisis cuantitativos, se reducen en la mayoría de los casos a simples presentaciones de listas estadísticas. En cuanto al uso de datos cuantitativos, se aplica con mayor frecuencia a las explotaciones de situaciones supuestamente análogas, basadas en condiciones que se presumen similares. El análisis basado en las relaciones funcionales de causa-efecto, que se establecen entre los factores ambientales en situaciones análogas, teniendo como requisito una similitud de condiciones y complementado con investigaciones suplementarias en el terreno, puede ser el medio más adecuado para pronosticar el impacto en muchas zonas del país.

Por lo que se refiere a medir y poner a escala los impactos ambientales, aunque probablemente es una de las operaciones fundamentales de su valorización, no se le ha concedido la importancia que merece. Las listas de confrontación de factores ambientales, que se han venido mencionando, solamente sirven de ayuda para definir el alcance de las consideraciones que se hacen con el objeto de asignar un valor numérico al probable daño. El problema fundamental de medir y poner a escala los impactos ambientales, es el de definir los métodos que se aplicarán para comparar el medio ambiental con y sin el proyecto. En la mayor parte de los análisis se supone equivocadamente que las condiciones ambientales existentes constituyen el origen de medida de los impactos del proyecto, sin tomar en cuenta que las condiciones del medio son eminentemente dinámicas. Del examen de juegos de fotografías o del análisis de series históricas de datos, es posible deducir que las condiciones ambientales están cambiando continuamente y que en la mayoría de las regiones el ambiente seguirá sufriendo alteraciones aún sin el proyecto.

La precisión y la confiabilidad de la respuesta del impacto ambiental pronosticado son problemas que están empezando a recibir atención en algunas investigaciones sobre la materia. Los análisis estadísticos que se realizan para confirmar los valores pronosticados y la estimación de la probabilidad de que el impacto ocurra, son medidas que podrían incluirse como valores anexos del impacto pronosticado.

### **7.3 Criterios de Selección de Métodos**

En principio, todos los métodos han sido elaborados para aplicarse en sociedades con niveles de desarrollo distintos al de México y, por consiguiente, con diferentes lineamientos que norman la selección de planes, proyectos y programas de desarrollo. Lo anterior implica el adaptar los métodos elaborados en otros países; para seleccionar una técnica propia que permita un análisis objetivo del impacto ambiental de los proyectos, enmarcada dentro de los objetivos de desarrollo del país.

El uso de un método para el análisis de los impactos ambientales, depende del criterio del responsable de dicho análisis y de las necesidades específicas del proyecto en cuestión. Para realizar la selección de métodos se han desarrollado criterios que pueden servir de base para la elaboración de la evaluación de impacto ambiental, como son:

*Integridad.* El método seleccionado debe comprender todas las alternativas y puntos de vista significativos. Sin un enfoque integral es casi seguro que las decisiones no sean óptimas.

*Aplicabilidad.* El método debe de ser simple para ser aprendido y aplicado por un grupo pequeño con conocimientos limitados, con un presupuesto reducido y en un corto tiempo, si así se requiere.

*Describibilidad.* Los resultados y conclusiones obtenidas deben permitir la visualización del problema y sus soluciones de tal manera que permitan el entendimiento y confianza del público y aseguren su participación.

*Ampliabilidad.* Debe permitir la evaluación preliminar de alternativas y ser fácilmente ampliable para proporcionar mayor detalle en aspectos clave.

*Aspectos relevantes.* La técnica debe incluir un informe explícito de todos los aspectos relevantes, sistemáticamente ordenados y ponderados para reflejar su importancia relativa.

*Sistema único.* El método debe reflejar un entendimiento del sistema ambiental socioeconómico como un todo y las principales interrelaciones entre los diversos factores.

*Discriminación de efectos.* El método debe reflejar cambios que ocurrirían en el futuro “sin el proyecto” y “con el proyecto”; además debe permitir la cuantificación de la diferencia entre conjuntos de alternativas.

*Uniformidad.* Diversos factores son medidos convencionalmente con una amplia variedad de unidades objetivas y subjetivas (pesos, biomasa, días de recreación, bueno - malo, empleos, etc.). Es recomendable emplear medios para transformar estas mediciones en unidades uniformes como un elemento para facilitar la comparación.

*Sistematización de información.* La factibilidad para recabar y alimentar la información requerida por un método es un criterio clave para la implantación exitosa de cualquier modelo.

## **8 SELECCION DE TECNICAS, DETERMINACION DE IMPACTOS Y MEDIDAS DE MITIGACION, APLICABLES A LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS**

A continuación se presentan las técnicas utilizadas para la determinación de los impactos ambientales para este trabajo, así como los impactos detectados y sus medidas de mitigación.

### **8.1 Selección de Técnicas Apropriadas para Identificar y Evaluar Impactos**

De las técnicas revisadas anteriormente se determinó que las más apropiadas para la evaluación del impacto ambiental en proyectos carreteros son:

- Método de matrices.
- Sobreposición de mapas.

Ambas técnicas son apropiadas, pero debido a que para este trabajo no se considera un proyecto en particular, no es posible aplicar la técnica de sobreposición de mapas, por tanto se consideró para evaluar los impactos que no estaban incluidos en los estudios de impacto ambiental que se revisaron el método de Matrices de Interacción.

Para realizar la evaluación de impactos mediante el método de Matrices se utilizó la técnica de lista de comprobación, también llamada lista de chequeo, de la que se partió para elaborar la matriz, ya que es una técnica sencilla que permite identificar y delimitar los aspectos a analizar en el proyecto y el entorno, facilitando la evaluación de los impactos aunque por sí misma no es suficiente para lograrlo, siendo necesario utilizarla de manera combinada con la técnica de matrices.

Los factores que se consideraron en las listas son básicamente de dos tipos:

- ◆ Lista de los factores del medio ambiente que pueden ser la base para un inventario o recopilación de información de un proyecto.
  
- ◆ Lista de actividades del proyecto que generarán un impacto en el ambiente.

A continuación se presentan las listas de chequeo elaboradas para la evaluación de impactos producidos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos.

### **Lista de Chequeo de los factores del medio ambiente**

#### ***Medio biótico***

- Degradación de la vegetación en el medio circundante.
- Modificación del Hábitat.
- Disminución de la abundancia de la fauna.
- Alteración del patrón de distribución de la fauna.
- Afectación de las especies acuáticas.

#### ***Medio físico***

- Erosión.
- Arrastre.
- Sedimentación.
- Alteración del drenaje natural.
- Modificación del flujo del agua.
- Contaminación del aire con gases y polvo.
- Contaminación de las corrientes con acarreos.
- Contaminación del suelo.

- Vibraciones y choques.

### ***Medio humano***

- Modificación de la estructura urbana de los centros de población.
- Aislamiento vial de subcentros urbanos.
- Fraccionamiento de las comunidades.
- Conflictos sociales.
- Accidentes.

### ***Calidad del Paisaje***

- Perturbación del paisaje natural.
- Deterioro de sitios de interés histórico.
- Obstrucción de ángulos visuales.
- Ruido.
- Basura.

### **Lista de actividades del proyecto que generan impactos al ambiente**

- Bancos de Material.
- Preparación de la Mezcla.
- Colocación y extensión.
- Texturizado.
- Comprobación de la superficie.
- Bandeado.
- Escobillado.
- Comprobación final.
- Curado.
- Corte y sellado.

- Apertura al público.
- Señalización.
- Mantenimiento.

Es importante aclarar que aún cuando los bancos de material no son parte propiamente intrínseca del camino, se involucraron en la evaluación debido a que proveen de los materiales básicos para el desarrollo de la construcción y conservación de las carreteras con superficie de rodamiento de concreto hidráulico.

Con base en los factores definidos en la lista de verificación, se elaboró la matriz de interacción que se presenta como Tabla 8.1. Cabe señalar, de manera particular, que el método de matrices se aplica comúnmente para identificar los impactos que producirían el camino y sus obras complementarias en el ambiente y para evaluar su intensidad a fin de seleccionar la opción más adecuada para mitigar dicho impacto, de ser posible la mitigación.

Las matrices pueden considerarse como listas de confrontación de dos dimensiones y constituyen el primer paso para definir sistemáticamente las interrelaciones entre los elementos. Estas interrelaciones, que pueden no ser obvias durante los procesos iniciales de valoración del camino o del ambiente en que se alojará, comprenden relaciones de 3 tipos:

- Relaciones causa-efecto; por ejemplo, sistemas de drenaje-modificación de hábitat.
- Relaciones entre los factores de deterioro del medio; por ejemplo, modificación del flujo del agua-degradación de la vegetación.

- Relaciones entre las obras que componen el proyecto como por ejemplo, terracerías-sistemas de drenaje.

**Tabla 8.1 Matriz de Interacciones**

MATRIZ DE INTERACCION DE IMPACTOS			CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO DE PAVIMENTO RIGIDO																
SIMBOLOGIA			CONSTRUCCION								OPERACION				MANTENIMIENTO				
			BANCOS DE MATERIAL	MEZCLADO	COLOCACION Y EXTENSION	TEXTURIZADO	COMPROBACION DE LA SUPERFICIE	BANDEADO	ESCOBILLADO	COMPROBACION FINAL	CURADO	CORTE Y SELLADO	DRENAJE	APERTURA AL PUBLICO	SEÑALIZACION	REHABILITACION	REINVELACION	RECICLADO	DETERIORS VARIOS
FACTORES AMBIENTALES	FISICOS	CLIMA	MICROCLIMA	PS	S					S									
		AIRE	CALIDAD	S	PS	PS			PS				S	PS	PS	PS	S		
		SUELO	FERTILIDAD	S															
			CARACTERISTICAS FISICAS	S															
		AGUA SUPERFICIAL	PATRON DE DRENAJE	S	PS														
			CALIDAD DEL AGUA	PS	NS					S									
		AGUA SUBTERRANEA	RECARGA DE ACUIFEROS	S		S													
			CALIDAD DEL AGUA	PS						PS									
		DINAMICA GEOMORFOLOGICA	PROCESOS GEOMORFICOS	S															
			RELIEVE	S															
	BIOLOGICOS	VEGETACION	DENSIDAD	S															
			ABUNDANCIA	S															
			DISTRIBUCION	S															
			HABITAT	S															
		FAUNA	DIVERSIDAD	PS															
			ABUNDANCIA	PS															
			INTERRELACION DE LAS POBLACIONES	PS		S							S						
			HABITAT	PS															
	SOCIOECONOMICOS	EMPLEO	PS	PS	PS		PS	PS					PS		PS	PS	PS		
		CALIDAD DE VIDA	PS		S								S		S	S	S		
ASPECTO VISUAL		S	PS	S					PS			S	S	S	PS	S			
INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS				S								S		PS	PS	S			
ACTIVIDADES ECONOMICAS		PS										S		S	PS	S			
EFFECTOS A LA SALUD	PS	NS					NS				NS	NS							

Una matriz se considera muy eficaz al identificar los tipos de interacciones, así como al establecer el posible rango de los resultados de cualquier acción específica. Del mismo modo, también puede ser útil para predecir con un mejor conocimiento del medio, aún sin ninguna acción a realizar.

Para determinar la importancia relativa de cada uno de los impactos ambientales, puede usarse un procedimiento de comparación, valorizando estos factores en una graduación de 1 a 10 en términos de magnitud (escala del efecto ambiental) e importancia (estimada a juicio del evaluador). Aunque este procedimiento presenta problemas para la unificación de criterios, y aunque las estimaciones tienen cierto carácter subjetivo, permite identificar los factores de deterioro más significativos, que corresponden a los valores más altos en la escala. En realidad, esta es la aplicación más importante que puede hacerse del análisis de los impactos ambientales por medio de matrices.

Para el presente estudio se establecieron en la Tabla 8.2 los criterios de tipo y significancia, para realizar una evaluación jerarquizando los impactos generados durante la construcción y conservación de la superficie de rodamiento.

**Tabla 8.2 Criterios para evaluación de impactos**

<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
No significativo	Los impactos al ambiente y las poblaciones no alteran las funciones normales de ningún sistema ambiental de manera que tenga consecuencias visibles o permanentes.
Poco Significativo	Los impactos al ambiente y las poblaciones pueden ser temporales (durante el tiempo que duren las actividades involucradas en el proyecto). Local, si solo abarca el área del proyecto y es reversible; es decir, que se pueden recuperar las condiciones iniciales prevalecientes en el área en un periodo de tiempo menor a un año.
Significativo	Los impactos al ambiente y las poblaciones son permanentes o mayores de un año, el efecto es local o regional; es decir, pudiera abarcar el área del proyecto, la región fisiográfica o cuenca. Además, es irreversible (no es posible recuperar las condiciones iniciales prevalecientes).
<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Adverso	El impacto va en detrimento de la calidad ambiental o en perjuicio de la población.
Benéfico	El impacto favorece la calidad del ambiente o la calidad de vida de la población

El uso del método de matrices simples de dos dimensiones ofrece algunos inconvenientes, especialmente que el formato no permite representar las interacciones sinérgicas que ocurren en el ambiente, ni tomar en cuenta los efectos indirectos o secundarios que se presentan con frecuencia en los proyectos. Una modificación de este método resuelve el problema de mostrar las diferentes clases de información, incluyendo varios elementos en un solo formato, por ejemplo, uso de recursos, acción generada (corte), cambios iniciales y subsecuentes en las condiciones del medio (erosión, incremento de la carga de sólidos en las corrientes) y efectos probables (variaciones poblacionales de la fauna).

En realidad, ninguna técnica o metodología para la identificación de impactos es completamente adecuada, ya que su utilidad depende de las condiciones ambientales del sitio y de las particularidades del proyecto a evaluar. Aunado a esto, siempre se requiere de la opinión de los integrantes del equipo evaluador que tendrá que ser multidisciplinario. Por ello es recomendable la aplicación de dos o más metodologías que realicen una combinación de técnicas, lo cual es lo más apropiado.

## **8.2 Descripción de los Impactos Generados**

La mayoría de los impactos, y los más adversos, son generados durante las etapas previas a la construcción de la superficie de rodamiento de la carretera, en las cuales se abre y limpia el trazo correspondiente al derecho de vía y se construye el cuerpo de la carretera, por tanto, cuando se realiza un estudio de impacto ambiental de carreteras, las etapas de construcción y conservación de la superficie de rodamiento no son consideradas dentro de las actividades impactantes y los impactos detectados son generalmente muy escasos y poco significativos. En el presente trabajo, el cual se ha centrado en analizar los impactos generados en estas etapas finales de la construcción de carreteras se han identificado pocos impactos, algunos de los cuales tienen su origen desde la construcción del cuerpo de la carretera y se ven reafirmados cuando se

tiene la superficie de rodamiento y se pone en funcionamiento. A continuación se describe cada impacto identificado con base en la lista de chequeo y la matriz de impactos de acuerdo a la etapa en que se presentan, la actividad que los genera y las medidas de mitigación correspondientes, en los casos que los impactos no son mitigables se plantea la medida compensatoria que puede implementarse.

**Etapas:** CONSTRUCCION.

**Actividad:** APROVECHAMIENTO DE BANCOS DE MATERIAL.

**Impacto:** Disminución de la calidad del aire.

**Descripción:** Durante el aprovechamiento de los bancos de material se realizan actividades tales como: excavaciones, selección de agregados dependiendo del tipo de material, carga de los camiones con el material y transporte a la planta u obra. Todas estas actividades generan partículas sólidas suspendidas que se incorporan al aire formando nubes de polvo y tolvánicas, que pueden tener un radio de afectación muy variable dependiendo de las condiciones climatológicas. Asimismo, los vehículos que transportan el material, emiten gases producto de una combustión incompleta como CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, principalmente, los cuales se precipitan al suelo con la lluvia (afectando sus propiedades químicas) o son absorbidos directamente por los organismos ocasionando enfermedades. Las zonas más afectadas son aquellas donde la cubierta vegetal es escasa o muy dispersa, como zonas áridas o semiáridas donde es fácilmente arrastrado el suelo por la acción del viento. Es un impacto adverso ya que disminuye la calidad del aire y es poco significativo porque son efectos temporales que duran el mismo tiempo que el aprovechamiento del banco de material.

**Mitigación:** Localizar los bancos de materiales cercanos al proyecto carretero y evaluar la conveniencia (técnica-económica) de obtener los agregados que se necesitan para la construcción de la superficie de rodamiento. En caso que la evaluación no sea favorable para abastecerse de bancos comerciales, los bancos de materiales requeridos para la losa de concreto hidráulico se deberán ubicar involucrando otros criterios además de los técnicos para su explotación. Estudios precisos sobre geología, climas, factores bióticos y socioeconómicos, que permitan plantear acciones para disminuir la erosión, minimizar la alteración del medio a través del transporte de partículas por viento, afectaciones a comunidades animales o vegetales frágiles o bajo protección, así como considerar las distancias con respecto a las poblaciones evitando afectaciones a la misma y minimizar gastos de transporte.

Por otra parte, es recomendable mantener el material cubierto con lonas húmedas durante el transporte para evitar que sea arrastrado por el viento. Al ubicar cerca los bancos de material de las obras o plantas de producción se disminuye el tiempo de transporte y en consecuencia las emisiones a la atmósfera, además de favorecer la disminución de emisiones contaminantes producidas por combustión incompleta, en donde también es necesario contar con un programa de mantenimiento de todos los vehículos.

**Impacto:** Incremento de ruido laboral y ambiental.

**Descripción:** Las actividades desarrolladas en el banco de materiales involucran un movimiento constante de maquinaria pesada, camiones de carga, personal y la operación de trituradoras, lo que genera niveles de ruido altos y variables. Este ruido ahuyenta a la fauna y en algunos casos ocasiona problemas de salud como sordera temporal o permanente si existe exposición prolongada a esos niveles de ruido. Asimismo, si una población cercana se encuentra expuesta a niveles de ruido altos,

puede sufrir estrés u otras alteraciones sicosomáticas relacionadas con el ruido. A este impacto se le identificó como adverso poco significativo porque es un impacto temporal e intermitente.

Por otra parte, al terminar de construir la carpeta hidráulica, se inicia el tránsito por la vía carretera, situación que genera, entre otras cosas, niveles de ruido cuya intensidad tendrá variaciones, dependiendo del volumen vehicular diario (TDPA), llegando en algunos casos hasta 88 decibeles a una distancia de 7.5 metros. El impacto adverso es poco significativo, debido a que deteriora la calidad del ambiente en un radio de afectación local e intermitente, pero su permanencia es indefinida, ya que tiene una relación directa con la vida útil de la carretera y sí puede afectar mucho en tramos carreteros interurbanos.

**Mitigación:** El mantenimiento de la maquinaria y vehículos es el único medio para minimizar la generación de niveles altos de ruido y proveer a los trabajadores de equipo de seguridad adecuado, específicamente tapones para los oídos (SNR 30) es otra medida que disminuye los efectos adversos en la salud de la población expuesta. Otro factor que podría ayudar es la utilización de bancos de material alejados de los centros de población.

**Impacto:** Disminución en la calidad del suelo e incremento en la erodabilidad.

**Descripción:** En muchos casos la superficie agrícola del suelo es retirada en su totalidad durante el aprovechamiento de los bancos de material, por tanto sus características físicas como estructura, espacio poroso y densidad, entre otras, se pierden. Al mismo tiempo al separarlo de su cubierta vegetal y acumularlo en montículo o dispuesto en otras áreas es lavado por la lluvia, lo cual disminuye su fertilidad sobre todo porque ya no cuenta con la cubierta vegetal, además es arrastrado más fácilmente

por la misma lluvia y viento erosionándose rápidamente. Por otro lado la superficie que ha sido despojada de la cubierta vegetal y de la capa superficial del suelo afectada dejando al descubierto el material litológico profundo convirtiéndolo en material fácilmente erosionable por la acción del viento y el agua. Este impacto es adverso significativo debido a que la recuperación total del sitio llevará varios años para el establecimiento de las primeras etapas de la sucesión ecológica de la vegetación y varios cientos de años para el desarrollo de un horizonte orgánico de suelo.

**Mitigación:** El suelo agrícola que se elimina de los bancos de materiales se puede utilizar para establecer áreas verdes alrededor del banco de material, en los camellones de la carretera o asignarse a un lugar específico donde se favorezca el desarrollo de la vegetación temporalmente para reutilizarlo en la recuperación del área del banco de materiales una vez que se ha terminado su aprovechamiento, y evitar que esta área se erosione o se produzca un cambio de uso de suelo.

**Impacto:** Modificación de la calidad del agua de los acuíferos.

**Descripción:** Durante el aprovechamiento del banco de material se favorece la lixiviación de sustancias como hidrocarburos, aceites, y residuos orgánicos entre otros, generados por los trabajadores, hacia el manto freático contaminando el acuífero; por otro lado, la ausencia de vegetación en esa zona provocará cambios en el microclima, si el área es muy extensa y cubierta por una comunidad arbórea bien establecida, los cambios pueden ser mesoclimáticos provocando variaciones en la recarga de los acuíferos por alteración de los ciclos hidrológicos, por tanto el impacto generado es adverso significativo, con base en que para recuperar el ecosistema original se requerirán varios años y un gran esfuerzo perfectamente planeado.

**Mitigación:** Programar la rehabilitación de la zona inmediatamente después de que se termine el aprovechamiento del banco de material, procurando la utilización de suelo y vegetación de la región y evitando derrames de sustancias como combustibles, aceites o aditivos necesarios para maquinarias y equipos empleados, por lo que es necesario destinar sitios específicos para el almacenamiento de estas sustancias en donde se cuente con materiales impermeables en el suelo que eviten su infiltración.

**Impacto:** Afectaciones a la salud.

**Descripción:** Las partículas sólidas suspendidas en el aire por la actividad de aprovechamiento de bancos de material quedan disponibles para ser ingeridas a través del sistema respiratorio y digestivo, provocando generalmente enfermedades respiratorias que pueden ser desde un flujo continuo de mucosidad hasta llegar a favorecer la aparición de asma, debido a la acumulación de partículas de polvo en las vías respiratorias y membranas pulmonares, de esto pueden derivar gastos médicos y pensiones por enfermedad. El impacto generado es adverso poco significativo, debido a que la población expuesta es en su mayoría personal que labora en la obra y cuenta con equipo de seguridad.

**Mitigación:** Ubicar los bancos de materiales alejados de centros de población y suministrar al personal el equipo de protección, por ejemplo goggles, mascarilla, casco y guantes, necesario para realizar su trabajo minimizando riesgos de enfermedades.

**Impacto:** Modificación del microclima.

**Descripción:** Las alteraciones sobre el microclima son de dos tipos, el primero es el cambio climático en los alrededores del banco de material debidos a la eliminación de la cubierta vegetal en el sitio de aprovechamiento y el aplastamiento de las plantas de

los alrededores por el paso del personal e instalación y operación de maquinaria y equipo. Este efecto es más grave en zonas con cubierta vegetal especial como los bosques y selvas, donde la vegetación es homogénea y abundante. El impacto es adverso significativo, debido a que se genera un deterioro del ambiente en la zona del banco y por otro lado puede ser irreversible; es decir, que no es posible recuperar las condiciones iniciales del sitio.

**Mitigación:** Elaborar programas de restauración donde se incluyan actividades como preservar la capa agrícola del suelo y la vegetación nativa que sea posible para utilizarla al terminar el aprovechamiento en la recuperación de la cubierta vegetal en el sitio, favoreciendo así el amortiguamiento de cambios extremos de temperatura tanto a nivel local como regional.

**Impacto:** Modificación de la topografía.

**Descripción:** Para la extracción de material se eligen generalmente cerros, resultando que la extracción puede ser tan severa que desaparezcan parcial o completamente convirtiendo la zona en una serie de depresiones en el terreno con roca desnuda, en la cual la cubierta vegetal tardará algunos años en establecer los primeros estadios de la sucesión ecológica y algunos cientos de años en volver a formar una capa de suelo orgánico (horizontes con estructura, textura, porosidad y materia orgánica), por lo tanto, es imposible recuperar las condiciones iniciales, por tanto se clasifica como un impacto adverso significativo.

**Mitigación:** Este impacto no es mitigable, sin embargo es posible realizar acciones compensatorias, como favorecer el establecimiento de la cubierta vegetal en la zona y la inmigración de las especies faunísticas.

**Impacto:** Modificación del patrón de drenaje superficial.

**Descripción:** La extracción de materiales creará depresiones en el terreno por la extracción del material y elevaciones por la acumulación de material seleccionado, lo cual modificará el drenaje superficial porque se crearán barreras físicas, pero además se aumentarán los sólidos suspendidos arrastrados por escorrentías que van a desembocar en los arroyos y cuerpos de agua cercanos, este efecto será más grave en proporción directa a la pendiente de la zona donde se encuentra ubicado el proyecto. El impacto resultante es adverso significativo, porque deteriora las condiciones ambientales y su influencia se puede prolongar hasta la región completa por la acción de los nuevos escurrimientos que formarán un sistema de drenaje superficial nuevo.

**Mitigación:** Este impacto no es mitigable, pero pueden aplicarse medidas compensatorias como evitar invadir zonas fuera del área definida para el banco de materiales con residuos de la actividad misma o generados por los trabajadores.

**Impacto:** Deterioro de la calidad del agua superficial.

**Descripción:** El material suelto generado por la excavación puede ser arrastrado fácilmente por las escorrentías de las épocas de lluvia para depositarse en los arroyos y lagos alrededor del proyecto. La presencia de sólidos en los cuerpos de agua evita la penetración de la luz y los procesos de fotosíntesis de algunos organismos acuáticos, también altera los ciclos de equilibrio químico generando entre otras cosas una mayor demanda de O<sub>2</sub> y en consecuencia la eutroficación del cuerpo de agua y la muerte de los organismos.

**Mitigación:** Es recomendable determinar un sitio para almacenar el material de manera que no pueda ser arrastrado por el agua así como implementar trampas de sedimentación para disminuir la cantidad de sólidos sedimentables que se incorporan a las corrientes de los ríos y a los embalses, presas y lagos.

**Impacto:** Eliminación de la cubierta vegetal.

**Descripción:** Durante la explotación de bancos de material, es necesario eliminar la cubierta vegetal para poder realizar el aprovechamiento del material. Se realiza primero una limpieza y deshierbe del sitio y después se retira el suelo superficial u horizonte agrícola para finalmente extraer los materiales litológicos que reúnen las características apropiadas para ser utilizados como materiales pétreos en la construcción de superficies de rodamiento. El impacto generado es adverso significativo porque propicia el deterioro del medio ambiente y el impacto, aún cuando es local, es grave, ya que la vegetación, sobre todo si son comunidades como bosques o selvas, no es fácil volver a introducir en el sitio en menos de 10 años siempre y cuando se consiga lograr condiciones de sitio apropiadas para su desarrollo, sobre todo en lo referente a propiedades físicas y químicas del suelo.

**Mitigación:** Dentro del programa de recuperación de sitio debe considerarse la conservación, en la medida de lo posible, del material removido tanto vegetal como del horizonte superficial del suelo (horizonte agrícola), para reutilizarse posteriormente en la recuperación del sitio sirviendo como medio de sostén y material biológico mínimo necesario para el establecimiento de una cubierta vegetal en la zona respetando la composición florística original del sitio.

**Actividad:** COLOCACION Y EXTENSION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

**Impacto:** Cambios en el microclima.

**Descripción.** Los materiales empleados para la construcción del pavimento hidráulico, afectarán al microclima, ya que producirán un incremento de la temperatura local debido a que conducen el calor más rápido que el suelo. Lo anterior se ejemplifica con el hecho de que aunque la temperatura del suelo al medio día pueda ser mayor a la del concreto o de otro material, al finalizar el día éste habrá absorbido mucho más calor que un volumen igual o similar de suelo sin pavimentar. Este calor será liberado al ambiente durante las horas posteriores al atardecer, provocando un aumento en las temperaturas locales o a nivel microclimático. Durante esos períodos también debe considerarse la longitud de la carretera debido a que puede ser que se vean afectados varios ecosistemas al formarse un corredor que fraccione esos ecosistemas, deteriorando la calidad de los mismos y ocasionando cambios climáticos a nivel regional o mesoclimático. Estos efectos se hacen más notorios donde la cubierta vegetal es abundante y homogénea, principalmente en sistemas de bosques y selvas. Por lo tanto, el impacto se considera negativo y los valores pueden variar de poco significativo a significativo, lo que dependerá del tipo de ecosistema en el que esté inmerso el proyecto

**Mitigación.** Este impacto no tiene mitigación, sin embargo es posible implementar medidas compensatorias como el establecimiento de áreas verdes a los costados del derecho de vía de la carretera y en los camellones.

**Impacto:** Modificación del patrón de drenaje del agua superficial.

**Descripción:** La construcción de la superficie de rodamiento creará una barrera para las escorrentías naturales y modificará su dirección, ocasionando el cambio de curso de los pequeños riachuelos, modificando la alimentación de cuerpos de agua tanto lóticos como lénticos. Este efecto es permanente y tiene influencia a distancias considerables del proyecto, tan lejos como lleguen las escorrentías y ríos intermitentes definidos por el patrón modificado de drenaje, por tanto el impacto resultante es adverso significativo, salvo en sitios donde el patrón de drenaje sea incipiente o nulo, como en algunas zonas planas, donde prevalecen los escurrimientos de tipo laminar.

**Mitigación:** La modificación del patrón de drenaje es un impacto no mitigable debido a que es inevitable el efecto barrera de la carpeta asfáltica, pero es posible elaborar un programa de restauración de las áreas colindantes con el derecho de vía de la carretera para favorecer el desarrollo de la vegetación y la inmigración de algunas especies faunísticas. Por otro lado, es importante que el drenaje de la carretera tenga un diseño adecuado al patrón de drenaje que cruzará y se le dé mantenimiento preventivo permanente.

**Impacto:** Disminución en la recarga de acuíferos.

**Descripción:** Al cubrir con concreto el derecho de vía para construir la superficie de rodamiento, se disminuye la superficie de infiltración del agua al manto freático, además al obstaculizar los escurrimientos del agua se modifica su curso y en consecuencia se modifica también la tasa de infiltración. El impacto generado es adverso significativo debido a que es un impacto permanente y a la importancia creciente de las reservas hídricas en todo el país debido a su escasez sobre todo en la parte centro y norte del país.

**Mitigación:** No mitigable pero puede lograrse una medida compensatoria si se favorece el establecimiento de una cubierta vegetal más abundante, respetando la composición florística natural, esa vegetación favorecerá la retención e infiltración del agua hacia el manto freático.

**Impacto:** Disminución de las poblaciones faunísticas en la zona (abundancia).

**Descripción:** El tendido de la carpeta hidráulica afecta la abundancia de las poblaciones debido al efecto barrera de una carretera, que impide la interacción entre poblaciones, esto actúa en deterioro o desaparición de las zonas de apareo, caza y de establecimiento de madrigueras, debido a la introducción de especies ajenas al ecosistema, el aumento de la caza furtiva y el crecimiento de la mancha urbana. Los invertebrados acuáticos, anfibios y peces que habitan en los arroyos, también pueden ser dañados a consecuencia, principalmente, del desecho de lubricantes, crecimiento de la mancha urbana y descarga de aguas residuales. El impacto generado es adverso significativo, debido a que es permanente y su influencia va más allá del área definida para el proyecto.

**Mitigación:** Para evitar la disminución de las poblaciones faunísticas en la zona, se deberán impulsar campañas de concientización dirigidas al personal que labora en la construcción y al público en general (durante la operación de la carretera) para evitar el maltrato o caza de cualquier animal con el que se encuentre a menos que represente una amenaza directa.

**Actividad:** CURADO.

**Impacto:** Cambios en el microclima.

**Descripción:** Durante el proceso de curado la humedad que se mantiene sobre la superficie de rodamiento por cualquiera de los métodos constructivos utilizados (ver Capítulo 4), genera una evapotranspiración que altera temporal y puntualmente las condiciones de humedad y temperatura en la zona del proyecto, provocando un impacto adverso no significativo debido a que es temporal (de 3 a 7 días) y local.

**Mitigación:** Este efecto no tiene mitigación.

**Impacto.** Contaminación de suelo y agua superficial.

**Descripción:** El agua que se genera como residuo del proceso de curado se vierte al suelo contaminándolo y también se incorpora como parte de las escorrentías a las aguas superficiales, lo que genera una contaminación de suelos y agua al mismo tiempo. Debido a que el volumen de agua que se emplea para mantener las condiciones de curado es reducido y una parte de esa agua se evapora, el impacto que se identifica es no significativo pero puede convertirse en poco significativo si el suelo al que se le vierte esta agua residual presenta valores de fertilidad altos.

**Mitigación.** Evitar la disposición del agua residual en los terrenos aledaños al proyecto carretero, por lo que se tendrá que instalar contenedores (pudieran ser pipas que transportan agua tratada) para posteriormente descargarlas en sitios autorizados para ello. Se recomienda que se caracterice el agua (realizar los análisis fisico-químicos) para que al pedir la autorización para descargar el agua, el municipio ubique el sitio adecuado.

**Actividad:** TRANSPORTE DE MATERIAL Y OPERACION DE LA MAQUINARIA.

**Impacto.** Disminución de la calidad del aire.

**Descripción.** El movimiento de materiales de construcción y la operación de maquinaria pesada inciden directamente en detrimento de la calidad del aire, por las emisiones de partículas suspendidas totales (PST) a la atmósfera. En términos de toxicidad específica y de salud ambiental, el criterio para evaluar el grado de afectación oscila en un promedio diario de  $275 \text{ g/m}^3$  de aire, considerando que la primera dependerá de la composición de las partículas.

El mayor efecto contaminante de las partículas suspendidas (con diámetros de 0.3 a 100 micras) sucede cuando éstas llegan a combinarse con los vapores de metales pesados que pudieran haber dispersos en el ambiente, estos se condensan como polvo sobre la superficie de las primeras. Aunque la fracción respirable de PST incluye sólo las partículas de diámetro inferior a 10 micras, éstas pueden causar problemas pulmonares. Las partículas también actúan como núcleos de condensación del agua y de otros vapores, dando lugar a la formación de microgotas en las que gases higroscópicos como el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  reaccionan químicamente y entonces pueden ser transportados como ácidos con lo que se incrementa su efecto agresor a través de la llamada lluvia ácida. Asimismo, las partículas son capaces de absorber hidrocarburos aromáticos policíclicos como el benceno, aumentando de esta manera su penetración por aparato respiratorio al organismo o prolongando su estancia en él con lo que magnifican su toxicidad. Durante la operación los vehículos que transitan por las carreteras generan gases de combustión que se incorporan a la atmósfera contribuyendo al incremento en la contaminación del mismo. Es un impacto adverso poco significativo ya que es temporal aun cuando una vez concluida la construcción este impacto se deberá a los vehículos que circulen por esa carretera.

**Mitigación.** Es conveniente elaborar un programa de mantenimiento para la maquinaria, equipos y vehículos para minimizar la generación de gases de combustión y al mismo tiempo hacer más eficiente su funcionamiento. Por otro lado el material al

ser transportado se dispersa por acción del viento, por tanto es conveniente mantenerlo cubierto con una lona húmeda para evitar que sea arrastrado por el viento. Con base en lo anterior, el impacto a la calidad del aire durante las etapas de construcción y mantenimiento a causa de la emisión de contaminantes generados por la combustión interna de maquinaria y partículas respirables es valorado como adverso poco significativo debido a que los contaminantes se emitirán temporalmente.

**Impacto:** Elevación de los niveles de ruido.

**Descripción:** Las actividades desarrolladas involucran un movimiento constante de maquinaria pesada y camiones de carga, lo que genera niveles de ruido altos y variables. Este ruido ahuyenta a la fauna y en algunos casos ocasiona problemas de salud como sordera temporal o permanente si existe exposición prolongada a esos niveles de ruido. Asimismo, si una población cercana se encuentra expuesta a niveles de ruido altos, puede sufrir estrés u otras alteraciones sicosomáticas relacionadas con el ruido. A este impacto se le identificó como adverso poco significativo porque es un impacto temporal e intermitente.

**Mitigación:** El mantenimiento de la maquinaria y vehículos es el único medio para minimizar la generación de niveles altos de ruido y para proteger al personal es necesario proveer a los trabajadores de equipo de seguridad adecuado, específicamente tapones para los oídos (SNR 30). Otro factor que podría ayudar es la ubicación de los bancos de material alejados de los centros de población.

**Actividad:** MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES PARA MAQUINARIA Y EQUIPOS

**Impacto:** Contaminación de suelo.

**Descripción:** Durante la construcción de la superficie de rodamiento se requiere de la utilización de combustibles para los que se destinan sitios de almacenamiento y con esto evitar recorrer grandes distancias para abastecerse. El almacenamiento inadecuado puede provocar fugas de combustibles que ocasionen cambios severos a las características químicas del suelo, afectando su fertilidad. El combustible derramado impregna las partículas de suelo, al infiltrarse al subsuelo lixiviado por agua de lluvia o por gravedad, ocasionando trastornos en la oxigenación favoreciendo una atmósfera anaerobia, afectando la fauna edáfica y la flora presentes en el sitio; además si llegara a tener contacto la población con el suelo contaminado podría ocasionar problemas de salud. El impacto resultante es adverso y puede variar en valores de poco a significativo, lo cual depende del tipo y volumen de contaminante.

**Mitigación:** Instalar un sitio específico para el almacenamiento de combustibles, el cual debe tener una cubierta impermeable en el piso para evitar contaminar el suelo, un techo que evite la intemperización por lluvia y sol del tanque de almacenamiento que pudieran provocar su deterioro y ocasionar fugas y derrames. Además, se deberá prohibir el paso a personal no autorizado a estas instalaciones, por lo que se deberá designar personal capacitado como responsable del almacenamiento, manejo y suministro de combustibles, y en caso de que se requiera, de otras sustancias identificadas como peligrosas.

**Impacto:** Generación de empleos.

**Descripción:** Durante la construcción y conservación de la superficie de rodamiento se generarán nuevas fuentes de trabajo, aunque la mayoría de ellas son temporales y, en general, son menos que durante las etapas anteriores correspondientes a la apertura

del derecho de vía y la construcción del cuerpo de la carretera. Este impacto se identifica como benéfico poco significativo, debido a la temporalidad del mismo.

**Mitigación:** Debido a que es un impacto positivo no hay mitigación que proponer.

**Actividad:** APERTURA AL PUBLICO.

**Impacto:** Aumento de la infraestructura y servicios para la comunidad.

**Descripción:** A partir del tendido de la superficie de rodamiento y una vez que se ha endurecido totalmente, se contará con vías de comunicación que permiten disminuir los tiempos de traslado y el acceso rápido a centros de atención primaria, esto producirá un incremento en la demanda de infraestructura local, lo cual dará lugar a la instalación de más servicios. Se mejorará considerablemente el nivel de vida de las comunidades, también se favorece el comercio entre las poblaciones y la comunicación en general teniendo como resultado intercambios comerciales constantes. Este impacto se considera siempre como benéfico significativo.

**Mitigación:** Debido a que se trata de un impacto positivo no aplica este punto.

**Impacto:** Disminución de la abundancia de la fauna.

**Descripción:** La apertura al público afecta la abundancia de las poblaciones debido al efecto barrera de una carretera, que impide la interacción entre poblaciones, esto actúa en deterioro o desaparición de las zonas de apareo, caza y de establecimiento de madrigueras, debido a la introducción de especies ajenas al ecosistema, el aumento de la caza furtiva y el crecimiento de la mancha urbana. Los invertebrados acuáticos,

anfibios y peces que habitan en los arroyos, también pueden ser dañados a consecuencia, principalmente, del desecho de lubricantes, crecimiento de la mancha urbana y descarga de aguas residuales. El impacto generado es adverso significativo, debido a que es permanente y su influencia va más allá del área definida para el proyecto.

**Mitigación:** Para evitar la disminución de las poblaciones faunísticas en la zona, se deberá impulsar campañas de concientización dirigidas al público en general para evitar el maltrato o caza de cualquier animal con el que se encuentre a menos que represente una amenaza directa.

**Actividad:** TODAS LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION PROVOCAN LOS SIGUIENTES IMPACTOS.

**Impacto:** Generación de empleos.

**Descripción:** Durante la construcción y conservación de la superficie de rodamiento se generarán nuevas fuentes de trabajo, aunque la mayoría de ellas son temporales y, en general, son menos que durante las etapas anteriores correspondientes a la apertura del derecho de vía y la construcción del cuerpo de la carretera. Este impacto se identifica como benéfico poco significativo, debido a la temporalidad del mismo.

**Mitigación:** Debido a que es un impacto positivo no hay mitigación que proponer.

**Impacto:** Daños a la salud de la población y de los trabajadores expuestos.

**Descripción.** El movimiento de equipo y maquinaria, tendrá un impacto directo sobre el personal que labora en el proyecto, donde puede darse la operación de maquinaria pesada bajo condiciones de trabajo inadecuadas, es decir con equipo de protección insuficiente o que no brindan la protección contra los factores a los que están expuestos, lo que puede generar accidentes con daños materiales y humanos considerables.

Además, existe el riesgo de daños temporales a la salud por ruido y aire contaminado, provocados por la actividad de la maquinaria, al emitir gases de combustión y el polvo que se levanta durante los trabajos de obtención, transporte y utilización de materiales de construcción; aunque esto va a depender de la ubicación del proyecto y las condiciones climáticas prevalecientes en la zona, (intensidad y dirección del viento que es en gran medida el que determina el radio de afectación de los contaminantes por ser uno de los medios más importantes de transporte de los mismos). Por otro lado, es posible también que se originen daños por el consumo de agua proveniente de arroyos o manto freático contaminados durante la fase de construcción.

**Mitigación:** Dotar el personal de campo de equipo de seguridad (tapabocas y tapones de oídos) a fin de reducir al mínimo los efectos perjudiciales a la salud, así como cuidar que las condiciones de trabajo de la maquinaria sea la adecuada y se cumplan con las normas establecidas para contaminación del aire. Es importante llevar un monitoreo de la calidad del agua a fin de asegurar la conservación de las propiedades que tenía antes de la construcción del camino.

**Impacto:** Crecimiento de la mancha urbana.

**Descripción:** El trazo de la carretera favorece el asentamiento irregular de personas a lo largo de ella, aumentando el detrimento del ecosistema y de las posibilidades de

atropellamientos, mutilaciones y traumatismos, por un crecimiento acelerado de la mancha urbana fuera de cualquier plan o programa de desarrollo urbano. Lo anterior propicia un impacto adverso significativo, debido a que es un impacto permanente y creciente.

**Mitigación:** Todo asentamiento humano que se establezca a ambos lados de las carreteras, deberá contemplarse y regularse por programas y/o planes de desarrollo municipal. De tal manera que sea un crecimiento controlado. Por otra parte, se deberán impulsar campañas de concientización para la población, con relación al cuidado de los recursos naturales existentes.

**Etapa:** CONSERVACION

**Impacto:** Aprovechamiento de recursos.

**Descripción:** Existen varios métodos para dar mantenimiento a una superficie de rodamiento pero estos dependerán del tipo de falla que se tenga. Dentro de estos, un aspecto que es importante resaltar es que durante la aplicación de esos métodos es posible reciclar los materiales que se retiran de la superficie de rodamiento y procesarlos, ya sea solos o mezclados con material nuevo para complementar la mezcla de concreto. Esta actividad genera un impacto que se identifica como benéfico poco significativo, debido a que disminuye la explotación de bancos de material, que es la fuente principal de los elementos requeridos para la elaboración del concreto hidráulico.

**Mitigación:** Dado que es un impacto positivo no aplica este punto.

**Impacto:** Aumento de los niveles de ruido.

**Descripción:** La actividad de reparación genera un nivel de ruido de 88 decibeles a 15 metros de distancia, lo cual puede ocasionar trastornos auditivos y nerviosos si se está expuesto de manera constante a ellos, pero debido a que la exposición es temporal e intermitente, el riesgo es menor, por lo que el impacto que se identifica es adverso poco significativo.

**Mitigación:** Es recomendable para minimizar los efectos producidos por el ruido, respetar los horarios de trabajo diurnos y no trabajar por la noche. Es necesario también que el personal que labora en las actividades de conservación, utilice tapones para los oídos.

**Impacto:** Alteración de las actividades de la comunidad.

**Descripción:** Este impacto se aplica de manera general a todos los métodos empleados para dar mantenimiento a una carpeta hidráulica. La realización de estos trabajos en horario y días inapropiados puede ocasionar problemas viales graves, como congestionamientos y accidentes. Este impacto se identifica como adverso poco significativo porque es temporal e intermitente.

**Mitigación:** Deben programarse los horarios y días en los cuales se realizará la reparación, dependiendo de la afluencia vehicular que registra la vialidad a reparar y debe proporcionarse al personal el equipo adecuado que le permita trabajar con seguridad en la zona de trabajo. Es importante igualmente señalar correctamente la zona de trabajo y, asegurarse que el personal que labora es perfectamente visible a cualquier hora.

## 9 CONCLUSIONES

- 1 Se identificaron dos impactos benéficos en la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos: la generación de empleos y, debido a que con la construcción de la carpeta hidráulica como superficie de rodamiento mejora la operación de la carretera, la comunicación entre poblaciones, centros de desarrollo y sitios de interés, lo que se evalúa como significativo y es el principal objetivo de un proyecto carretero.
- 2 Debido a que los bancos de material son inherentes a los proyectos carreteros, especialmente, como proveedor de los agregados pétreos que requiere la superficie de rodamiento, se involucró la explotación de ellos en la evaluación del impacto ambiental. Las actividades requeridas para la explotación de los bancos de material, son las que mayor número de impactos adversos genera y que son más significativos en mayor número de elementos ambientales.
- 3 De las actividades específicas en la construcción y conservación de la superficie de rodamiento de pavimentos rígidos, la colocación y extensión del concreto hidráulico, manejo y almacenamiento de combustibles son las que generan impactos adversos significativos.
- 4 Los elementos ambientales que sufren impactos adversos significativos son el aire, el suelo y el agua. A este último se le identifica (en algunos casos) un impacto adverso significativo, más por el valor ambiental que por el daño que puede sufrir durante las actividades de construcción y conservación de la superficie de rodamiento de pavimentos rígidos.

- 5 Las materias primas empleadas para la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos rígidos no implican un riesgo a la salud de los trabajadores, debido a sus que son en su mayoría productos pétreos salvo los utilizados como combustibles, los tiempos de exposición reducidos y el factor de dilución al desarrollar los trabajos a la intemperie.
  
- 6 Los materiales pétreos empleados para la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos rígidos no implican un riesgo a la salud por sus características tóxicas, únicamente una acumulación de partículas en los pulmones puede causar alguna enfermedad, pero gracias al factor de dilución debido a que el trabajo se desarrolla al aire libre y a que los materiales se mantienen húmedos, no se tienen reportes de enfermedades en esta actividad.
  
- 7 Es importante destacar los impactos adversos que se identifican en el ambiente laboral, debido a que se generan gases con características tóxicas, ruido con niveles que pueden dañar el oído y en el manejo de sustancias identificadas como peligrosas, particularmente combustibles. Por esta razón, es muy importante dotar de equipo de seguridad a los trabajadores de acuerdo a la normatividad que aplique (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) y realizar y aplicar procedimientos por cada actividad que requiere la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos.
  
- 8 El 75% de los impactos identificados son no significativos, el 20% son poco significativos y solamente el 5% son significativos. Por otra parte, de todos los impactos identificados, el 98% se puede mitigar, compensar o inclusive inhibir. El 2% que no se puede mitigar, compensar o inhibir, son impactos producidos por la explotación de los bancos de materiales, particularmente en la modificación del relieve local.

- 9 De acuerdo con el punto anterior, los impactos generados por la construcción y conservación de superficies de rodamiento en pavimentos rígidos, no representan un costo ambiental y social alto, por lo que en una evaluación beneficio-costos, son los impactos que menor número aportan y con menor valor.
- 10 Por último, se hace mención que en comparación con los pavimentos flexibles, la ventaja más notable de los pavimentos rígidos, es que no se emplean ni se generan sustancias tóxicas como solventes, residuos de asfaltos y gases generados durante el calentamiento de los cementos asfálticos.

## BIBLIOGRAFIA

Banco Mundial, 1991. Libro de Consulta para Evaluación Ambiental; Vol. I Políticas, Procedimientos y Problemas Intersectoriales. Departamento de Medio Ambiente. Washington, D.C.

Castillo González, M., 1995. Curso de Impacto Ambiental. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F.

Chiras, D. D. 1991. Environmental Science Action for a Sustainable Future. Third Edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. N.Y.

Finsterbusch, K. 1995. In praise of SIA-A personal review of the field of social impact assessment: feasibility, justification, history, methods, issues. International Association for impact Assessment. Vol. 13, No. 3.

Instituto Nacional de Ecología, 1990. Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.

Instituto Nacional de Ecología, 1992. Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.

Instituto Nacional de Ecología, 1993. Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.

Kraus, E. H., Walter Fred Hunt y Lewis Stephen Ransdell, 1967. Mineralogía. Ediciones del Castillo, S.A. de C.V., Quinta Edición.

Instituto Nacional de Ecología, 1999. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Título Cuarto- Protección al ambiente. Capítulo V - Materiales y Residuos Peligrosos. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México, D.F.

Lemons, K. E., and A.L. Porter, 1990. A comparative Study of Impact Assessment Methods in Developed and Developing Countries. Impact Assessment Bulletin. Vol 10, No. 3.

Martínez Soto, A., y Damián Hernández S., 1999. Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. Instituto Mexicano del Transporte/Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica No. 133. Querétaro, Qro.

Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, 1989. Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental "Carreteras y Ferrocarriles". Centro de Publicaciones-Secretaría General Técnica, Madrid, España.

Morales Rojas, P. E. 1965. Control y supervisión de laboratorio en los materiales para pavimentos flexibles y concretos hidráulicos. Tesis profesional. ESIA, IPN. México, D.F.

Ortolano, L. and Anne Shepherd, 1995. Environmental Impact Assessment: Changes and opportunities. Impact Assessment. International Association for Impact Assessment, Volume 13, No. 1.

Page, J., 1993. The introduction of railroads to China: The observations of William Barclay Parsons. International Association for Impact Assessment. Vol. 11, No. 3.

Peña, C. E., Dean E. Carter y Felix Ayala-Fierro, 1998. Toxicología ambiental. Evaluación de Riesgos y Restauración ambiental. Superfund Basic Research Program. Center of Toxicology, The University of Arizona.

Pettijohn, F.J., 1980. Rocas Sedimentarias. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Primer Simposio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volúme de Tráfego, 1997. Río de Janeiro, Brasil.

Rico Rodríguez, A., 1974. Estructuración de los pavimentos. Instituto Mexicano del Transporte. México, D.F.

Rico Rodríguez, A., et al. 1998. Algunos aspectos comparativos entre pavimentos flexibles y rígidos. Instituto Mexicano del Transporte/Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica No. 103. Querétaro, Qro.

Rodarte Lazo, F. F., 1977. Conservación de Pavimentos Rígidos y Flexibles. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, D.F.

Sánchez Rosado, D., 1975. Ilustración de dos determinaciones útiles en trabajos de pavimentación. Secretaría de Obras Públicas. Departamento de Supervisión de Laboratorios. Dirección General de Control. México, D.F.

Scorza Rojas, E. 1998. Experiencias en las carreteras y vialidades recientemente construidas en México con concreto Hidráulico. Pavimentos Mexicanos de Concreto, S.A. de C.V., Grupo Cemex. Monterrey, N.L. México.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1980. Impactos de las vías terrestres. Seminario de Educación Continua. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes 1991. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos I. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1984. Impacto de los caminos en el Medio Ambiente. Subsecretaría de Infraestructura. SCT. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1990. Normas para Construcción e Instalaciones. Carreteras y Aeropistas. Pavimentos. Subsecretaría de Infraestructura México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos II, Tomo I. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1992. Instructivo para efectuar pruebas en materiales de Pavimentación. Subsecretaría de Infraestructura. Apoyo Didáctico, Volumen 2. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1992. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Subsecretaría de Infraestructura. Pavimentos II, Tomo II. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1994. Manual de Señalamientos Turísticos y de Servicios. Subsecretaría de Infraestructura. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1994. Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras. Subsecretaría de Infraestructura. México, D.F.

Secretaría de Obras Públicas, 1974. Instructivo para la Rehabilitación de Pavimentos Flexibles y Rígidos de carreteras. Dirección General de Control. Departamento de Supervisión de Laboratorios. México, D.F.

Secretaría de Obras Públicas, 1975. El Impacto de los Caminos en el Medio Ambiente. Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Secretaría de Obras Públicas, 1975. El Impacto de los Caminos en el Medio Ambiente. Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 1993. Norma Oficial Mexicana: NOM-005-STPS/93. Almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles. STPS. México, D.F.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 1994. Norma Oficial Mexicana: NOM-017-STPS/94. Equipo de protección personal para los trabajadores. STPS. México, D.F.

Servicio de Obras Públicas, 1971. Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras Mexicanas. SCT. México, D.F.

Snoeyink V. L. y David Jenkins, 1990. Química del Agua. Editorial Limusa-Noriega, México.

Téllez Gutiérrez R. y Damián Hernández S., 1998. Consideraciones sobre Medio Ambiente en la Planeación de Carreteras. Instituto Mexicano del Transporte/Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica No. 102. Querétaro, Qro.

Vázquez González, A. B. Y Enrique César Valdez, 1994. Impacto Ambiental. Facultad de Ingeniería, UNAM e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Universidad Politécnica de Madrid, 1993. IX Curso Internacional de Carreteras. Fundación Agustín de Bethencourt, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Weitzenfeld, H., 1990. Evaluación del Impacto en el Ambiente y la Salud. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Metepec, Edo. de México.

### **Manifestaciones de Impacto Ambiental Consultadas.**

Autopista San Luis Potosí – Matehuala – Saltillo, 1992. Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. DE C.V.

Autopista que conecta a las Ciudades de Tuxpan (Edo. de Veracruz) y Tampico (Edo. de Tamaulipas). Dicha carretera tendrá una longitud de 160 km y una velocidad promedio de 110 km/h.

Manifestación de Impacto Ambiental Autopista Coatzacoalcos Villahermosa Tramo Agua Dulce-Cardenas. Consorcio de Constructores de Tabasco S.A. de C.V.

Autopista Cardel - Tihuatlán Veracruz, 1998. Manifestación de Modalidad General. SCT, Subsecretaría de Transporte. Dirección General de Carreteras Federales.