



Pavimentos Generadores de Energía con Materiales Piezoeléctricos

Autor

Michell Serrano López

**Programa de Maestría y Doctorado
en Arquitectura**

MMXI





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Pavimentos Generadores de Energía con Materiales Piezoeléctricos

Tesis que presenta
para obtener el grado de:

Maestra en Arquitectura

Presenta:

Michell Serrano López

**Programa de Maestría y Doctorado
en Arquitectura**

MMXI

Director de Tesis:

Dra. Gemma Luz Verduzco Chirino

Sinodales

Dra. María Elena Villafuerte Castrejón

Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz

Dr. Fidel Sánchez Bautista

Mtro. Jorge Rangel Dávalos

Agradecimientos:

A mis padres y a mi familia con amor, muchas gracias por su apoyo incondicional.

Índice

Introducción

1. Antecedentes

- 1.1 Sustentabilidad
- 1.2 Definición de variables que intervienen en la sustentabilidad.
- 1.3 Sustentabilidad en México
- 1.4 Normatividad

2. Pavimentos Vehiculares

- 2.1 Historia
- 2.2 Las vías Terrestres en México
- 2.3 Características generales de México
- 2.4 Generalidades
- 2.5 Definiciones
- 2.6 Clasificación de Vehículos
- 2.7 Procedimientos Constructivos
 - 2.7.1 Para terracerías (cuerpo del terraplén).
 - 2.7.2 Capa sub-rasante.
 - 2.7.3 Bases y sub-bases:
 - 2.7.4 Carpetas asfálticas
- 2.8 Materiales
 - 2.8.1 Materiales para Revestimiento
 - 2.8.1.1 Por su tratamiento mecánico
 - 2.8.1.2 Por su tratamiento químico
 - 2.8.2 Materiales para Bases Hidráulicas
 - 2.8.3 Materiales para Estabilizaciones.
 - 2.8.3.1 Cal para Estabilizaciones
 - 2.8.4 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas
 - 2.8.4.1 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
 - 2.8.4.2 Mezclas asfálticas en caliente
 - 2.8.4.3 Mezclas asfálticas en frío
 - 2.8.5 Materiales para Subbases y Bases
 - 2.8.5.1 Materiales para Subbases
 - 2.8.5.2 Materiales para Bases Tratadas
- 2.9 Tipos de Pavimentos
 - 2.9.1 Flexibles
 - 2.9.2 Rígidos
- 2.10 Impacto Ambiental
 - 2.10.1 Definición y Tipos de Impacto Ambiental
 - 2.10.2 Impactos ambientales y sus medidas de mitigación por etapas

3. Pavimentos Peatonales

- 3.1 Análisis de vías peatonales, pasos de peatones y esquinas de aceras.
- 3.2 Metodología. Procedimientos de aplicación y ejemplos de cálculo
 - 3.2.1 Criterios para los niveles de servicio en vías peatonales
 - 3.2.2 Movimiento peatonal en esquinas de aceras.
 - 3.2.3 Zona de influencia peatonal en esquina de aceras
 - 3.2.4 Niveles de servicio en esquina de aceras
- 3.3 Características constructivas
- 3.4 Materiales
- 3.5 Dimensionamiento y secciones

4. Pavimentos Generadores de Energía

- 4.1 Referencias históricas
 - 4.1.1 Descubrimiento de los materiales piezoeléctricos
 - 4.1.2 Primera generación de aplicaciones con cristales naturales
 - 4.1.3 Segunda aplicación de cerámicas piezoeléctricas
 - 4.1.4 Descubrimientos japoneses
 - 4.1.5 Búsqueda de mercados de mayor volumen
- 4.2 Materiales Piezoeléctricos
 - 4.2.1 Terminología y relaciones entre las variables de un material piezoeléctrico para aplicaciones funcionales
 - 4.2.2 Constantes piezoeléctricas
 - 4.2.3 Determinación de propiedades Piezoeléctricas
 - 4.2.4 Tipos de caracterización
 - 4.2.5 Estructura Cristalina
 - 4.2.6 Propiedades
 - 4.2.7 Estructura Perovskita
 - 4.2.8 Clasificación
 - 4.2.9 Formas y dimensiones
- 4.3 Aplicaciones
 - 4.3.1 Generadores piezoeléctricos
 - 4.3.2 Efecto piezoeléctrico en pavimentos vehiculares.
 - 4.3.3 Efecto piezoeléctrico en pavimentos peatonales
- 4.4 Prototipo Propuesto
- 4.5 Ejemplos análogos de aplicaciones de materiales piezoeléctricos en pavimentos para producción de energía.

Conclusiones

Bibliografía

Anexo 1. Normalización vigente en materia de pavimentos

Introducción

La presente tesis tiene por objeto, la incorporación de una nueva tecnología a la construcción y diseño de pavimentos en arquitectura e ingeniería con materiales con efecto piezoeléctrico produciendo nuevas aplicaciones en la generación de energía.

Debido al tiempo de vida útil, permanencia y el impacto en el medio ambiente que presentan los pavimentos vehiculares y peatonales en la actualidad; hoy en día es evidente la necesidad de nuevos tipos de pavimentos vehiculares y peatonales, con una visión hacia la sustentabilidad.

Derivado de esta problemática, se plantea la hipótesis: se aprovechará la energía generada por medio de materiales con efecto piezoeléctrico, y tendrá aplicaciones en Arquitectura e Ingeniería, creando nuevos sistemas constructivos, una nueva tecnología y una nueva fuente de producción de energía.

Este proyecto de investigación se dividió en cuatro capítulos donde se plantearon los temas centrales y de utilidad para el impulso y la creación de nueva tecnología.

El primer capítulo trata los antecedentes de la sustentabilidad, de sus orígenes y de las diferentes reuniones que tuvieron lugar desde el año de 1972 en los diferentes países alrededor del mundo; debido a que es un momento clave en la historia de la humanidad, ya que comienza a gestarse una constante preocupación por desarrollar nuevas fuentes de energía y nuevas tecnologías de menor impacto en el medioambiente. Se definen las variables que intervienen en el término con la finalidad de acotarlo para los fines de este trabajo. Posteriormente se analiza la situación de la sustentabilidad en nuestro país, así como la normatividad existente y que se encuentra vigente en materia medioambiental.

En el segundo capítulo se trata el tema de los pavimentos vehiculares, lo cual resulta de suma importancia para una mejor comprensión del documento; comenzando con una perspectiva histórica de la evolución y desarrollo de los pavimentos en México hasta nuestros días, donde se analiza la situación actual de las vías terrestres en México, y puede observarse un vertiginoso crecimiento de estas vías, como un fenómeno que continua hasta la fecha y prevalecerá en el futuro.

A continuación se presentan los conceptos y definiciones a nivel técnico que son básicas y se manejan en los pavimentos vehiculares; así como las diferentes clasificaciones existentes para estas vías y para los vehículos que transitan en estas. Estos conceptos son importantes para el siguiente tema, ya que en este se presentan los procedimientos constructivos utilizados en la actualidad, así como los principales materiales utilizados, los tipos de pavimentos, clasificándolos en dos; pavimentos rígidos y flexibles, para al final de este capítulo presentar el impacto en el medioambiente, que tienen los pavimentos durante sus diferentes etapas.

En el tercer capítulo se presenta un estudio de los pavimentos peatonales, comenzando con un análisis de las vías peatonales, para posteriormente mostrar una metodología para su diseño y los diferentes sistemas constructivos con distintos tipos de materiales así como su dimensionamiento. Al final de este capítulo se muestra la normatividad vigente en México para los pavimentos peatonales, para ser tomado en cuenta en la realización de la propuesta.

Todo lo anterior para desarrollar el capítulo final de esta propuesta, “Pavimentos Generadores de Energía”, donde se comienza con una reseña histórica desde el descubrimiento de los materiales con efecto piezoeléctrico, las aplicaciones tecnológicas que han tenido a lo largo del tiempo; para después definir términos necesarios entender el efecto piezoeléctrico, y como este efecto es capaz de generar energía, así como su funcionamiento y estructura a nivel molecular. Se define además el material más adecuado, conocido como PZT (Titanato Zirconato de Plomo), ya que este es el material con el que se puede producir mayor cantidad de energía; las variaciones en la presentación de este material y la clasificación normalizada del mismo.

La propuesta de esta investigación, incluye las aplicaciones de los materiales con efecto piezoeléctrico en pavimentos vehiculares y peatonales por medio placas generadoras de energía, así como la cantidad de energía que es posible generar **en cada caso**.

Se diseñó un prototipo de placa generadora de energía fabricada con materiales con efecto piezoeléctrico, para uso peatonal, la cual nos ayuda a confirmar la hipótesis sobre la generación de energía eléctrica para uso en iluminación, sin ser contaminante.

Manifestando que esta es una tecnología en desarrollo; se incluyen ejemplos análogos, de algunos países, que a pesar de ser a un nivel experimental son útiles para aseverar la factibilidad del uso de estos materiales en placas generadoras.

En el desarrollo de esta investigación surgieron otras modalidades para la inclusión de estos materiales en pavimentos, estas implican el uso de la energía generada en otras aplicaciones, tales como sensores de presencia, utilizados en espacios arquitectónicos.

Para finalmente poder llegar a aseverar que, los pavimentos con materiales piezoeléctricos, son una nueva fuente de producción de energía alterna, que puede utilizarse para la disminuir cantidad de energía requerida para iluminación, además de las diversas aplicaciones en espacios arquitectónicos reemplazando sensores convencionales para encender luces, accionar lavabos, detectar presencia, entre otros.

1. Antecedentes

1.1 Sustentabilidad¹

La definición de sustentabilidad contenida en el documento "Nuestro futuro común", elaborada por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1987), conocida como Comisión de Brundtland dice lo siguiente:

"El Desarrollo Sustentable es aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades."

Evolución histórica del desarrollo sustentable:

1972. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente humano, celebrada en Estocolmo, Suecia. Se recopilaron las principales preocupaciones planteadas por los gobiernos, comunidades científicas y grupos sociales, sobre la problemática ambiental, expresados en diferentes foros durante los años sesenta y principios de los setenta. Se organizó un programa multilateral, PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), con recursos limitados, que asumiría un importante papel impulsor y de coordinación en iniciativas y acciones medioambientales a nivel regional e internacional.

A partir de ese momento se inician una serie de actividades entre las cuales se incluyen conferencias internacionales (Hábitat I en Vancouver 1976), foros de discusión y debate tanto de organismos gubernamentales, civiles, científicos académicos, además de una vasta producción intelectual y científica.

1984. Asamblea General de las Naciones Unidas. Promueve la creación de la Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo, hoy conocida como la comisión de Brundtland. La interrupción y pérdida de atención en el tema durante la primera mitad de los ochenta a causa de la emergencia en el debate directamente relacionado con la crisis económica. Mientras se agudizaban algunos problemas sociales y se profundizaba la brecha entre países pobres e industrializados, entre otras consecuencias de la crisis económica, emergieron con más fuerza algunas manifestaciones de la crisis ambiental que se encuentran directamente relacionadas a patrones productivos y de consumo, para crear un nuevo clima de preocupación mundial. Este contexto generó condiciones de mayor receptibilidad para un planteamiento que buscara articular desarrollo y ambiente.

1987. La Comisión de Brundtland publica el informe "Nuestro Futuro Común". Este informe partía de la idea de que el desarrollo sustentable puede entenderse como un proceso y sus restricciones más importantes tienen relación con la explotación de recursos, la orientación de la evolución tecnológica y el marco institucional. Hacía énfasis

¹ Informe anual. Banco Mundial, Washington. Informe sobre el desarrollo mundial 1992; desarrollo y ambiente, Washington. BID-PNUD, 1991. Nuestra propia Agenda, CFE, México.

también en que el desarrollo puede enfocarse a la superación del déficit social en necesidades básicas. Reconoció la necesidad de realizar más esfuerzos para estabilizar la necesidad en el mundo y distribuirla mejor. También planteaba, modificar patrones de consumo sobre todo en los países desarrollados para poder mantener y aumentar los recursos base, particularmente, agrícolas, energéticos, bióticos, minerales, aire y agua.

Después de 1987 la idea de un desarrollo sustentable, no tardo en ser retomada, adaptada, sometida a revisión y criticada. Fue incluida en las formulaciones de los organismos internacionales que tienen más influencia en la orientación de los modelos del desarrollo, como el Banco Mundial, La Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la ONU, el Banco Interamericano de Desarrollo y otros.

1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que se realizó en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992. Se consolida el concepto de desarrollo sustentable, se emitió una declaración principios suscrita por todos los países participantes, se aprobó un conjunto de recomendaciones contenidas en un documento llamado Agenda 21, y sometió a la aprobación de los asistentes, los convenios internacionales sobre cambio climático sobre, biodiversidad y protección ambiental, además de recomendar estudios más profundos sobre problemas de erosión de suelos y otros.

Después de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD, llamada también Cumbre de la Tierra o de Río, 1992), se dio una sucesión de grandes conferencias internacionales temáticamente mas focalizadas, tales como la de la Población (Cairo, 1994); la del Desarrollo Social (Copenhague, 1995); y la de la Mujer (Beijing, 1995); además de la segunda conferencia sobre el Hábitat Humano (Hábitat II, Estambul, junio de 1996) y la Cumbre de Río+5 (París, junio de 1997). Los gobiernos acordaron en 1997 el Protocolo de Kioto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC). El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004. Este es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global y que producen el efecto invernadero de origen humano: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆).

1.2 Definición de variables que intervienen en la sustentabilidad.²

a) Política

El desarrollo sustentable supone que en lo general, las sociedades mediante sistemas políticos democráticos, son capaces de economizar sus recursos escasos, racionalizar

² Informe anual. Banco Mundial, Washington. Informe sobre el desarrollo mundial 1992; desarrollo y ambiente, Washington. BID-PNUD, 1991. Nuestra propia Agenda, CFE, México.

sus decisiones sobre la asignación de recursos reales y armonizar sus intereses nacionales con los globales. Las variables políticas deben interpretarse como mecanismos que favorecen o pueden no favorecer la instauración de un desarrollo de las características mencionadas. En primer lugar, los elementos políticos como la consolidación de una democracia gobernable, la capacidad de las agencias burocráticas, la ampliación de los mecanismos de representación y la pluralidad de las instancias decisorias favorecen la construcción de escenarios de decisión pública, amplios y eficientes, con efectos positivos en la definición de estrategias de desarrollo sustentable.

b) Economía

Las grandes revoluciones económicas en el proceso histórico de desarrollo de la humanidad se han dado en una dirección opuesta a la naturaleza. A la par del enorme crecimiento productivo, la distancia con respecto a la naturaleza se ha hecho más grande, de la misma forma ha sucedido entre los diferentes espacios sociales, lo que ha dado como resultado una estructura económica sumamente desbalanceada. La contradicción original entre lo social y lo natural se ha magnificado y se expresa hoy en varias contraposiciones a diferentes niveles. Los países desarrollados por una parte y el tercer mundo por la otra. La industria y la agricultura, la sociedad urbana y rural, la agricultura especializada y la agricultura tradicional, el bienestar basado en el superconsumo suntuario y la miseria, el desperdicio y sobre uso de los recursos, el desarrollo sustentable implica la corrección y mejoramiento continuo.

La ecología debe tener un gran valor y tomar un lugar en la economía global, estas deben ser disciplinas que se acompañen y trabajen juntas sin embargo aun hay muy poca comunicación entre estas. En este sentido las empresas juegan un papel muy importante y deben comenzar a asumir la responsabilidad que les corresponde.

c) Medio ambiente y ecología.

El estado y funcionalidad de un ecosistema conforma la red de sustentación de actividades económicas, a través de la cadena alimenticia y los ciclos biogeoquímicos. El medio ambiente y el desarrollo económico son cuestiones cuyas interrelaciones e implicaciones empiezan apenas a comprenderse y valorarse en toda su magnitud. La mayoría sistemas productivos con tecnologías desarrolladas hasta nuestros días se basan en el empleo intenso de energía fósil, en la explotación de recursos naturales sin estrategias ni procesos adecuados de mantenimiento, recuperación o en su caso reposición, y en aglomeraciones urbanas industriales que emiten sus desechos sin importar esencialmente la repercusión sobre la naturaleza, ni los efectos en la salud humana.

d) Sociedad y Cultura

Si el desarrollo sustentable ha de alcanzar los fines de proteger a la humanidad presente y futura, deberá asegurarle la calidad de vida necesaria y controlar abuso de los recursos no renovables del planeta.

1.3 Sustentabilidad en México³

En México son cada vez más notorias las evidencias del deterioro ambiental, manifestadas por la destrucción de recursos y el **abatimiento de la producción**; por lo anterior existe una permanente e insistente denuncia de este deterioro. Desde la perspectiva ecológica, esto ha hecho que cada vez más sectores se preocupen y actúen para detener o remediar estos problemas.

La necesidad de acelerar la búsqueda de alternativas aplicadas al ámbito de México y a las distintas condiciones ambientales del país que sin afectar la productividad conserven el ambiente. Una alternativa, consiste en el uso combinado de varios ecosistemas naturales transformados y de varios productos dentro de ellos, diversificando la actividad de los miembros de las unidades de producción.

Es importante que toda ciudad que pretenda ser verdaderamente habitable debe ofrecer a sus pobladores y visitantes puntos de contacto con la naturaleza. La Ciudad de México es la cuarta más poblada del mundo y a pesar de que se reconoce la necesidad de áreas verdes para una mejor calidad de vida, el gobierno no tiene los recursos financieros para atender con plenitud los espacios ya existentes ni para crear los que la población demanda. Esta situación favorece el deterioro de estos espacios sin que sea posible solucionarlo oportuna y conjuntamente. El crecimiento anárquico de la ciudad y otras poblaciones que finalmente quedaron conurbadas, propició que esas áreas hayan sufrido procesos de deterioro grave y rápido; el proyecto integral del rescate ecológico tiene muchas perspectivas positivas para el entorno ambiental, sobre todo si tomamos en cuenta que la cultura urbana de la Ciudad de México ha tenido que olvidar su contacto con paisajes naturales. Los espacios verdes fueron sustituidos por zonas habitacionales y comerciales para cubrir la demanda de servicios básicos de los ciudadanos. La presencia de la naturaleza se redujo a pequeños lugares con jardines y árboles intentando con ello preservar toda la riqueza de la biodiversidad.

La disyuntiva del crecimiento y de la conservación ha motivado grandes discusiones que han llevado a la construcción del concepto y la visión del desarrollo sustentable, la perspectiva económica de esta visión se encuentra en incrementar la riqueza para mejorar las condiciones de vida de la sociedad sin destruir la base natural en la que asienta la actividad humana en general. En México los costos del crecimiento sustentable son enormes como en muchos países, sin embargo, cada sociedad cuenta con condiciones específicas que obligan a abordar la problemática y las alternativas de solución de manera diferencial.

Debido al grave deterioro ambiental que sufre México, se ha generado en los últimos años un proceso de concientización ciudadana que ha estimulado a los gobiernos e

3. Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, Informe especial sobre la violación al derecho humano a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado por el deterioro y desaparición del suelo de conservación del Distrito Federal, 1ra. Edición, 2005.

instituciones hacia una toma de decisiones políticas encaminadas a aminorar y prevenir las consecuencias negativas en la ecología.

En los últimos cuarenta años se han observado múltiples cambios estructurales en el país, sin embargo, existen problemas que se convierten en asignaturas no resueltas agravadas con el tiempo; desigualdad, pobreza, desempleo, distorsiones sectoriales y regionales, esfuerzo científico y tecnológico raquítico y sin dirección, desequilibrio externo permanente y finanzas públicas afectadas por el peso de la deuda pública. La situación económica y su trayectoria han generado desequilibrios que presionan los recursos naturales y sociales, creando desigualdades socioeconómicas y ambientales de carácter general y regional mostrándose en severos deterioros que ponen en peligro la viabilidad de la sociedad.

1.4 Normatividad ⁴

En México se creó el denominado Derecho Ambiental a finales del siglo XX. El Derecho suele reflejar fielmente las preocupaciones del país y es por esta elemental razón que el Derecho Ambiental existe y ha alcanzado su desarrollo actual. La preservación y promoción del medio ambiente, la implementación de un modelo de desarrollo sustentable es una preocupación de la sociedad de nuestro tiempo y, por consiguiente, de su Derecho. Obviamente, la degradación ambiental es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la humanidad. Un modelo de desarrollo erróneo (con superpoblación, y, sobre todo, injusticia en la distribución de los recursos económicos, injusticia en las relaciones comerciales, política y políticos irresponsables a largo plazo) ha puesto en el punto de mira de todos los países la necesidad del respeto a las reglas de equilibrio natural para garantizar la integridad y renovación de los sistemas naturales. Se trata en definitiva, de establecer las reglas que hagan posible un medio ambiente equilibrado y sostenible para las generaciones actuales y futuras.

El primer intento que hizo el Estado Mexicano por incorporar a su legislación el derecho a un medio ambiente sano se dio en 1988 con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; sin embargo, este esfuerzo no fue suficiente en virtud de que se requería que el derecho a un medio ambiente sano fuera previsto por la Constitución. El 28 de junio de 1999 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la reforma al artículo 4º. Constitucional, incluyéndose el párrafo quinto que a la letra dice:

“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.”

Cabe señalar que la reforma al artículo 4º. Párrafo quinto, representa un avance en materia de derechos humanos; sin embargo, ésta debió especificar claramente el derecho

4. Reflexiones en torno a los derechos humanos y el medio ambiente, Olivares Ruiz, Landy, <http://www.ine.gob.mx>.

que tiene toda persona a disfrutar de un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como establecer las acciones y mecanismos necesarios para controlar y mejorar el entorno natural, mediante el cuerpo normativo para la protección, preservación y restauración que incluya medidas preventivas y de compensación para quien haya dañado el medio ambiente.

En este sentido existen diversos ordenamientos que prevén la protección del medio ambiente en diversas materias y el reconocimiento de un medio ambiente adecuado.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE TEXTO VIGENTE

(Última reforma aplicada 13/06/2003)

Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.

LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE TEXTO VIGENTE

(Última reforma aplicada 10/01/2002)

Su objeto es establecer la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la Nación ejerce su jurisdicción.

El aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por las leyes forestales y de pesca, respectivamente, salvo que se trate de especies o poblaciones en riesgo.

No obstante el avance que representó la consagración de este derecho en materia de derechos humanos en la Ley Suprema de la Unión, se originó una problemática en cuanto a la exigibilidad del derecho humano a un medio ambiente sano, en virtud de que cualquier derecho subjetivo público que reconozca nuestra Constitución deberá tener un organismo procesal con el cual se pueda hacer valer.

El aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por las leyes forestales y de pesca, respectivamente, salvo que se trate de especies o poblaciones en riesgo.

2. Pavimentos Vehiculares

2.1 Historia⁵

Los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimentos; posteriormente, cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista. En América y en México en particular, existió este tipo de caminos durante el florecimiento, de las civilizaciones Maya y Azteca.

Con la invención de la rueda, aparecieron las carretas jaladas por personas o bestias y fue necesario acondicionar los caminos para que el tránsito se desarrollara lo más rápido y cómodo posible; los espartanos y fenicios hicieron los primeros caminos de que se tiene noticia, pero en México, tras la conquista, los transportes constituían uno de los más agudos problemas pues el botín de la conquista no podía ser movilizad, la solución radicaba en la construcción de caminos y por ese motivo, el 17 de octubre de 1533 es emitida en Madrid por la Reina de España la Cédula Real, en la cual se ordena la construcción de caminos en la Nueva España.

En 1590 el gobierno virreinal ordena al Ing. Juan Bautista Antonelli militar italiano se ocupe en el trazo de un camino carretero de México a Veracruz, vía Orizaba, el cual considerado el primero en su género en el nuevo mundo.

En los primeros años de vida independiente de México, las constantes luchas por el logro de la libertad y la consolidación de las instituciones, impidieron a los gobiernos republicanos construir, y menos aún conservar las escasas vías de comunicación en forma metódica y constante.

Cuando Benito Juárez gobierna el país crea la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a la que se le encarga los trabajos de construcción de carreteras.

En 1900 como consecuencia de la aparición del automóvil surgen las carreteras. Tras la Revolución Mexicana se sumó la revolución del transporte, que en los Países más adelantados era ya una realidad. Dicha revolución tuvo auge cuando se perfeccionaron los motores de explosión interna, entonces fue preciso para los gobiernos ponerse al día en la construcción de caminos.

Durante el Gobierno de Álvaro Obregón se hace evidente el impulso al renglón de la economía nacional la que culmina con la celebración con el Primer Congreso de Caminos. En 1925 el Presidente Plutarco Elías Calles crea la Comisión Nacional de Caminos, como antecedente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. El primer reto que enfrentó fue la construcción de la carretera México - Nuevo Laredo, calificada en su

⁵ Historia de las Obras Públicas en México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Primera edición: diciembre 1999.

tiempo como de difícil realización dados los grandes obstáculos que oponía la naturaleza hostil de la Sierra Madre Oriental.

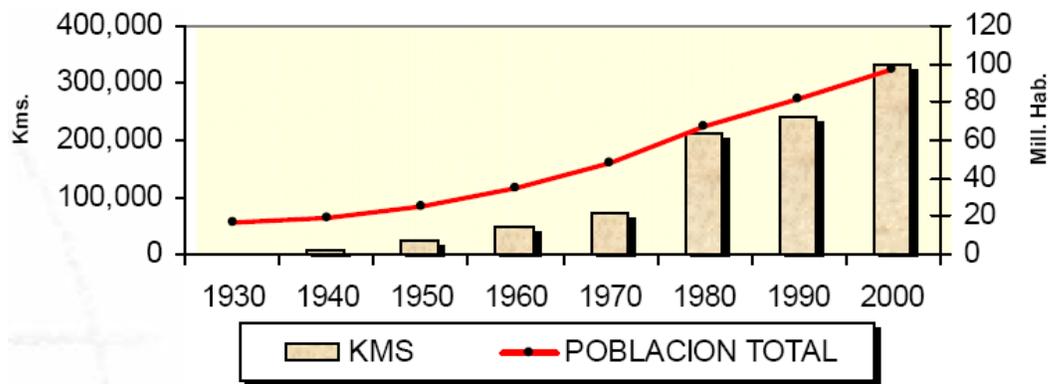
Por lo antes mencionado en esta fecha se honra en todo el país a los trabajadores que en distintas etapas de la vida de México contribuyeron con su trabajo a forjar los caminos que han sido cruciales para el desarrollo de la Nación.

A lo largo de los últimos 70 años, la población del país creció casi 6 veces a la vez que fue pasando de lo rural a lo urbano. En ese mismo periodo la red nacional de carreteras se expandió a más de 230 veces su tamaño original.

Dentro de la red nacional se fueron configurando con el tiempo los principales ejes de comunicación como se muestra a continuación.

Gráfica 1. Evolución de construcción de carretera en México.

Fuente: Historia de las Obras Públicas en México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Primera edición: diciembre 1999.



1930

- 16.5 Millones de habitantes
- 87,655 Vehículos registrados
- 1,426 kms de red carretera
- 11 ciudades importantes

Se comunicaba básicamente la Ciudad de México con Pachuca, Puebla, Toluca y Acapulco, así como Mérida con Progreso y Valladolid y Monterrey con Nuevo Laredo.

1940

- 19.65 Millones de habitantes
- 145,708 Vehículos registrados
- 9,928 kms de red carretera
- 23 ciudades de más de 50,000 hab.

Se comunicaba 23 ciudades destacando los tramos de México-Cd.Victoria Nuevo Laredo, México-Toluca-Guadalajara, Chihuahua- Cd.Juárez, Aguascalientes-San Luís Potosí-Tampico.

1950

- 25.79 Millones de habitantes
- 302,798 Vehículos registrados
- 22,455 kms de red carretera

Se comunicaba a más ciudades a la red nacional, destacando la carretera panamericana que une Cd.Juárez,Chih, con Cd. Cuahutémoc, Chis., así como la México-Nogales, Durango-Torreón, Mérida-Campeche, Veracruz-Coatzacoalcos. En 1952 se pone en operación la autopista México-Cuernavaca.

1960

- 34.92 Millones de habitantes
- 782,650 Vehículos registrados
- 46,892 kms de red carretera

En esta década se duplica la red carretera basándose en una nueva forma de financiamiento, la “tripartita”, la cuál dio gran impulso a los caminos vecinales. Asimismo, se iniciaron las carreteras de altas especificaciones, como las autopistas de Cuernavaca a Amacuzac y México a Palmillas. Además de las de San Luis Potosí-Piedras Negras, Coatzacoalcos - Salina Cruz y Coatzacoalcos - Villahermosa.

1970

- 48.22 Millones de habitantes
- 1,928,816 Vehículos registrados
- 71,520 kms de red carretera

Se contaba con poco más de 1,000 Kms de autopistas. En 1963 se creó el Organismo Caminos Federales de Ingresos. De este periodo datan las autopistas de: México a Puebla (1962), La Pera a Cuautla (1965), Puebla a Córdoba (1966), México a Tecamac (1967), Tijuana a Ensenada (1967) y Querétaro a Irapuato (1968) entre otras de gran importancia.

1980

- 66.84 Millones de habitantes
- 6'176,848 Vehículos registrados
- 212,626 kms de red carretera

Se revisa la política de infraestructura en el transporte, y surge en 1971 el Programa de Caminos de Mano de Obra con la finalidad de construir carreteras en las regiones más inaccesibles del país, dando gran apoyo a las zonas rurales. De esta época datan la carretera Felipe Carrillo Puerto - Cancún, Tuxtepec - Oaxaca y la Transpeninsular de Baja California.

1990

- 81.25 Millones de habitantes
- 10,165,715 Vehículos registrados
- 239,235 kms de red carretera

El dinamismo de la economía generó una alta demanda sobre el transporte carretero por lo que la modernización de las carreteras se hizo imprescindible aunado a que el 55% de la red federal contaba con más de 30 años de vida. En 1989 se puso en marcha el programa nacional de autopistas donde se definieron nueve grandes rutas troncales: México-Nogales; México-Cd.Juárez; México-Nuevo Laredo; Matamoros-Cancún; México-

Cd.Hidalgo; Tijuana-Santa Ana y Acuña-Matamoros; Mazatlán-Matamoros; Manzanillo-Tampico y Tuxpan-Acapulco.

2000

- 97.32 Millones de habitantes
- 15, 398,547 Vehículos registrados
- 331,557 kms de red carretera

Dadas las necesidades de ampliación de la infraestructura carretera y a la escasez de recursos, en 1994 se diseñó una estrategia de modernización del sistema carretero troncal definido por 10 ejes que comunican a las principales ciudades entre sí y con los puertos, aeropuertos y fronteras. Asimismo se dio prioridad a la construcción de obras de alto impacto regional, construcción de libramientos, accesos a centros urbanos y puentes internacionales, teniendo como resultado la construcción o ampliación de alrededor de 6,400 kms de carreteras, lo que permitió contar con el 68% de los ejes troncales modernizados.

2.2 Las vías Terrestres en México⁶

En la actualidad, los países en el mundo están dando alta prioridad a la modernización de su infraestructura, que les permita lograr una mayor participación en la economía global. Con ese propósito, para México es necesario elevar la cobertura, calidad y competitividad de su infraestructura, lo que le permitirá convertirlo en una de las principales plataformas logísticas del mundo y aprovechar nuestra posición geográfica y los tratados internacionales.

Para lo cual se debe desarrollar infraestructura que sea accesibles a todos los mexicanos y que contribuya a mejorar su calidad de vida.

Para lograrlo, se deben aprovechar las últimas tecnologías y los avances tecnológicos disponibles, que den valor agregado para las diversas actividades económicas, financieras y sociales del país de manera equilibrada y sostenida.

2.3 Características generales de México⁷

Orografía.

La presencia de grandes cadenas montañosas dificulta y encarece la comunicación transversal, por lo que los costos de construcción para carreteras entre el altiplano y las costas se elevan a niveles prohibitivos.

Comunicación terrestre.

La comunicación del país en sentido norte-sur dispone de mejores vías de comunicación y mayores facilidades de transporte que la que ocurre en sentido este-oeste.

⁶ Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

⁷ Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Tránsito en grandes ciudades.

Las vialidades urbanas y el crecimiento acelerado de población en grandes ciudades, provoca problemas de congestión y capacidad en horas de mayor demanda en vías federales de acceso.

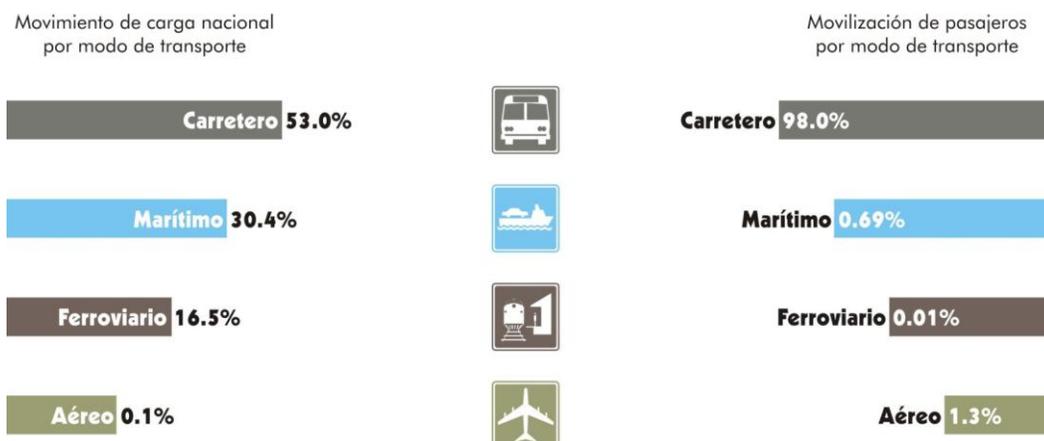
Características generales:

- a) Superficie: 1,964, 375 km²
- b) Población: 107, 550, 697 hab.
- c) Densidad de población: 54.7 hab/ km²
- d) PIB: 14, 980, 000 millones de pesos
- e) PIB per cápita: 139, 283 pesos
- f) Parque nacional vehicular: 22 millones de vehículos
- g) Número de automóviles/1000 habitantes: 204
- h) Red federal de carreteras: 48, 319 km
- i) Red alimentadora: 72, 179 km
- j) Red rural: 236,447 km

Para México, la red carretera nacional constituye la columna vertebral del sistema de transporte, ya que por vía terrestre, particularmente por las carreteras, se desplaza el 53% de la carga nacional y el 98% de los pasajeros que se trasladan a lo largo y ancho del país. Por autotransporte se movilizan cerca de 479 millones de toneladas y 3, 170 millones de pasajeros cada año.

Figura 1. Movilización nacional de carga y pasajeros.

Fuente: Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes



Las carreteras son el elemento fundamental del sistema de transporte de México, por lo que es importante preservar el patrimonio vial de México. En la actualidad, México cuenta con un importante patrimonio vial clasificado de la siguiente manera:

Red federal, red alimentadora y red rural⁸

La red federal de carreteras está a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), mientras que los caminos de la red alimentadora son responsabilidad de los gobiernos de los estados.

La red carretera nacional tiene una extensión de 356,945 kilómetros, de los cuales 48,319 Km. pertenecen a la red federal; 72,179 Km. a las redes de jurisdicción estatal y 236,447 a caminos rurales y alimentadores.

La red federal se divide en básica y secundaria. En la red básica se ubican los 14 corredores troncales con una longitud total de 19,245 kilómetros, a lo largo de los cuales circula la mayoría del tránsito carretero.

Asimismo, en la red federal básica operan 7,216 kilómetros de autopistas de cuota. Esta red de cuota está concesionada a particulares, Gobiernos Estatales o instituciones financieras. Por su longitud, esta red es una de las más extensas del mundo, sólo detrás de la de Francia y ligeramente mayor que la de Italia.

Por lo que corresponde a la red federal secundaria, esta se compone de 17,172 kilómetros que cubren las diferentes regiones del país.

Figura 2. Características de la red carretera nacional

Fuente: Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes



⁸ Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

En materia de kilómetros realizados en diferentes programas permiten observar un crecimiento a partir de 2005, con incrementos porcentuales del orden del 23%, lo que permitió para 2008 obtener 1618 kilómetros.

Gráfica 2. Características de la red carretera nacional

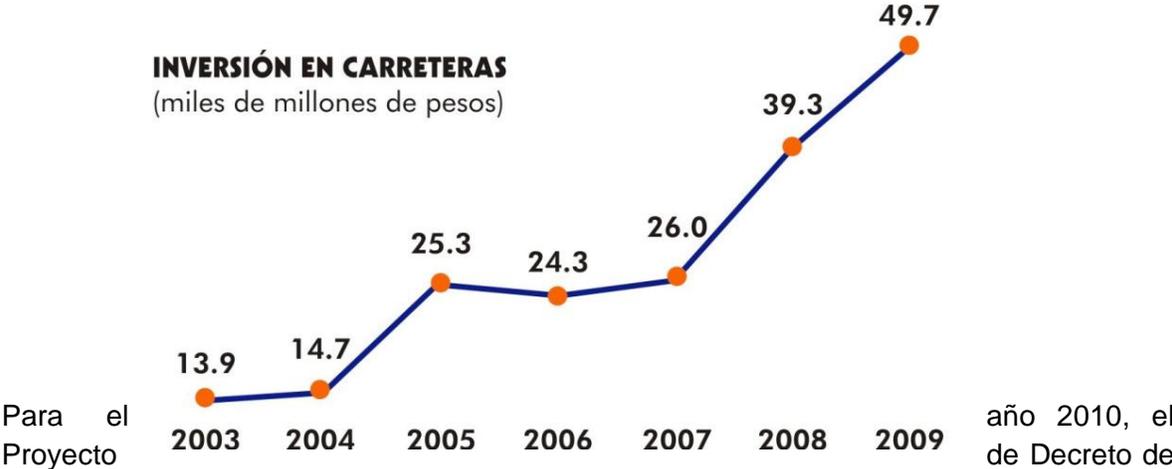
Fuente: Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes



Los inversiones en carreteras en sus diferentes programas (construcción y modernización; conservación, caminos rurales y programa de empleo temporal), han experimentado un notable crecimiento; basta citar que para el año de 2009 el presupuesto aprobado es 26.5% más que el de 2008. Lo que permitirá disponer de recursos por un total de más de 49 mil millones de pesos.

Gráfica 3. Características de la red carretera nacional

Fuente: Opúsculo. El sector carretero en México 2009. Secretaría de Comunicaciones y Transportes



Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2010 tiene contemplada una inversión de 1852 millones de pesos aproximadamente para infraestructura carretera.⁹

Tabla 1. Erogaciones Plurianuales para Proyectos de Infraestructura (millones de pesos).

Fuente: Proyecto de Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2010. Presidencia de la República.

Proyecto	2010
Infraestructura carretera	1,852.00
Región Noroeste	412.00
Puertecitos-Laguna de Chapala y Libramiento de Ensenada	100.00
San Luis Río Colorado-Sonoyta-Caborca	312.00
Región Sur Sureste	755.00
Villahermosa-Escárcega-Xpujil	610.00
Cafetal-Tulum-Playa del Carmen	145.00
Región Occidente-Noroeste	585.00
Durango-Fresnillo	300.00
Zacatecas-Salttilo	285.00
Región Sur Sureste	100.00
Acapulco-Zihuatanejo	100.00

Además, el PEF, contempla un Programa Especial para Desarrollo Sustentable, el cual tiene recursos asignados para Infraestructura de Comunicaciones y Transportes.¹⁰

Tabla 2. Recursos asignados al Programa Especial para Desarrollo Sustentable (millones de pesos).

Fuente: Proyecto de Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2010. Presidencia de la República.

Infraestructura	Ramo 09 Comunicaciones y Transportes	5,846.00
	Infraestructura	5,846.00
	Caminos rurales	5,846.00

⁹ Proyecto de Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2010. presidencia de la República

¹⁰ Ibídem

2.4 Generalidades¹¹

Una carretera es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. Se distingue de un simple camino porque está especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte.

CAMINO

Entendemos por camino la faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación camino incluye las calles de la ciudad.

TIPOS DE CAMINO

Los tipos de camino se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al que con ellas se persigue o por su transitabilidad.

CAMINOS SEGÚN SU FUNCION

Camino dividido: circulación en dos sentidos, con faja central separando los sentidos de la circulación opuesta.

Camino no dividido: circulación en dos sentidos separados exclusivamente por la raya limitada de carriles.

Arteria urbana: campo principal en zona urbana y que une los extremos de una población para tránsito de paso.

Camino de dos carriles: circulación en ambos sentidos con un carril para cada uno.

Camino de tres carriles: igual al anterior pero con un tercer carril que sirve para maniobras de rebase para ambos sentidos de la circulación.

Vía rápida: camino dividido para tránsito de paso con control total o parcial de acceso y con paso a desnivel en intersecciones importantes.

SEGÚN EL TIPO DE TERRENO.

- Plano: Es el terreno que no obliga a pendientes mayores del 4%.
- Ondulado: En este terreno, las pendientes pueden llegar hasta el 8%.
- Montañoso: El terreno montañoso es el que da pocas oportunidades de bajar la pendiente a menos de 14%.
- Escarpado: Es el terreno cuya topografía obliga a pendientes mayores del 14%.

POR ADMINISTRACIÓN.

Federales: cuando son costeadas íntegramente por la federación y se encuentra por lo tanto a su cargo.

¹¹ www.MiTecnologico.com sep 2011

Estatales: cuando son construidas por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el estado donde se construye; y el 50% por la federación. Estos caminos quedan a cargo de las juntas locales de caminos.

Vecinales: cuando son construidas por la cooperación de vecinos beneficiados pagando, estos un tercio del valor, otro tercio la federación y otro tercio el estado.

De cuota: los cuales quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada caminos y puentes de ingreso y conexos, siendo la inversión recuperable a través de las cuotas de ingreso.

TECNICA OFICIAL.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

Tipo especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4, S.

Tipo A: para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.

Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.

Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

2.5 Definiciones¹²

a) Pavimento

Estructura formada por capas de material seleccionado que dan lugar en su parte superior a una superficie de rodamiento. Este elemento tiene como función soportar y transmitir las cargas al suelo así como constituir una superficie adecuada para el tránsito de vehículos.

¹² www.MiTecnologico.com sep 2011

b) Corona

Es la superficie del camino y está limitada por los hombros. Los elementos que definen la corona son la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

c) Pendiente transversal

Está definida por el grado de inclinación que tiene el camino en el sentido perpendicular al eje del camino. Su función es la de proporcionar un drenaje adecuado al camino y puede ser en uno o dos sentidos.

d) Calzada

Es la superficie por la cual circulan los vehículos, está delimitada por los acotamientos y dividida por carriles de circulación.

e) Acotamiento

Son las fajas contiguas a la calzada comprendidas entre sus orillas y los hombros del camino. Las principales ventajas son las siguientes:

- Dan seguridad al usuario al proporcionar una franja adicional fuera de la calzada
- Protege contra la humedad y posibles erosiones a la calzada
- Mejora la visibilidad en las curvas
- Facilita los trabajos de conservación
- El ancho de los acotamientos depende del volumen del tránsito y del nivel de servicio.

2.6 Clasificación de Vehículos¹³

Los vehículos se clasifican atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas:

Tabla 3. Clasificación de vehículos

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

CLASE	NOMENCLATURA
AUTOMÓVILES Y CAMIONETAS (con peso hasta 3 Ton.)	A
AUTOBUS	B
CAMION UNITARIO	C
CAMION REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMION ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

¹³ Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal

Tabla 4. Clasificación de vehículos automóviles.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

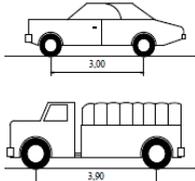
AUTOMOVIL (A)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
A	2	4	

Tabla 5. Clasificación de vehículos autobuses.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

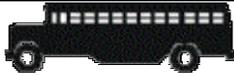
AUTOBUS (B)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	

Tabla 6. Clasificación de vehículos camiones.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

CAMION UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	

CAMION-REMOLQUE (C-R)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

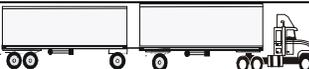
Tabla 7. Clasificación de vehículos tractocamión articulado

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

TRACTOCAMION ARTICULADO			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

Tabla 8. Clasificación de vehículos tractocamión semirremolque-remolque

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

TRACTOCAMION SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2(1)	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4(1)	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Las configuraciones T3-S2-R2 y T3-S2-R4 podrán comprender un semirremolque de tres ejes con eje retráctil, siempre y cuando no se exceda el número máximo de ejes autorizado ni el peso bruto vehicular máximo para el T3-S2-R2 y T3-S2-R4 respectivamente. En todo caso, dicho eje retráctil deberá estar levantado durante la circulación del vehículo.

2.7 Procedimientos Constructivos ¹⁴

Los procesos constructivos empleados para cada una de las capas componentes de una sección estructural de pavimento se encuentran normalizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Para la presentación de estos procedimientos constructivos se hará referencia a los que se emplean de acuerdo con la capa en cuestión.

2.7.1 Para terracerías (cuerpo del terraplén).

El acomodo de los materiales puede realizarse de tres maneras diferentes:

1. Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo correspondiente según su calidad; en general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén son del 90%; el espesor de las capas *será* acuerdo al equipo de construcción.

2. Si los materiales no son compactables, se forma una capa cuyo espesor sea casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca; pero no menos de 15 cm.; sobre esta capa debe pasar un tractor de orugas, tres veces por cada punto de la superficie con movimientos en zig zag; es conveniente que para mejorar el acomodo, se proporcione agua en una cantidad de 100-1 por m³ de material.

3. Si se requiere realizar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no sea fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite que el material se coloque a volteo, hasta una altura en que ya se pueda operar equipo.

Cuando el tráfico que soportara un camino es mayor a 5000 vehículos por día, los 50 cm. superiores del cuerpo del terraplén, se construirán con material compactable y se les dará este tratamiento hasta un grado del 90% de PVSM (peso volumétrico seco máximo); si el material con que se construyó la parte inferior también es compactable, la diferencia solo será el grado de compactación que tendrán cada una de ellas.

2.7.2 Capa sub-rasante.

Para esta capa la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado de acuerdo a sus características. En forma general, se construye mediante dos capas de 15 cm. de espesor mínimo.

Como en general los materiales que se encuentran cerca de la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánica o químicamente; en otras ocasiones, para construir las terracerías, es necesario formar caja y sustituir al material extraído por otro de características adecuadas; a menudo este es el caso para construir la capa subrasante en cortes.

¹⁴ ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES. Fernando Olivera Bustamante. Editorial CECSA. 1994.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS. Luis Miguel Aguirre. Zarate Aquino. Facultad de ingeniería. UNAM.
División de Educación Continua, 1995

A veces, se tiene que el material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que este no debe de acarrear de prestamos de bancos, sino que se utiliza el mismo material, y para que no se tengan salientes en la cama de corte y que la compactación sea constante se escarifican 15 cm. del material, se humedece en forma homogénea, se extienden dando el bombeo de proyecto y se compacta a 95% de su PVSM.

2.7.3 Bases y sub-bases.

Los procedimientos de construcción para las bases y sub-bases, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares son en el siguiente orden:

1. Exploración: se requiere una exploración completa de la zona en que se pretende construir la obra vial, para la determinación de posibles bancos para pavimentación, para esto se hace uso de la fotografía aérea y de reconocimientos terrestres.
2. Muestreo, pruebas de laboratorio: Una vez localizados los posibles bancos de materiales, será necesario realizar sondeos preliminares, para tener idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizaran sondeos definitivos en mayor número que en los anteriores. Con estos sondeos se conocerá la extensión del banco.
3. Extracción y acarreo de materiales: para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquellos que se encuentran en forma masiva se deben obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm. como máximo. Para ello primeramente se barrena la roca, se coloca dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. Además será necesaria la posterior extracción de los fragmentos con equipo de acuerdo con la dificultad que se presenta por el tamaño. Generalmente antes de su transportación a la obra los materiales reciben un tratamiento especial, que van desde el cribado, trituración o bien estabilización con algún producto químico. El acarreo de los materiales tratados se realiza con el equipo acorde al tamaño de la obra, distancia de acarreo, condiciones topográficas y de acceso a la obra y tamaño de los materiales, una vez en la obra los materiales se acamellonan con el uso de motoconformadoras.
4. Tratamientos en la obra: los tratamientos pueden ser estabilizaciones mecánicas o químicas, para ello una vez acamellonado y medido el material, se forma una capa en parte de la corona de la obra y sobre ella se coloca el material que se va a mezclar en forma acordonada, si es necesario se disgrega para luego mezclarlos con motoconformadoras hasta homogeneizarlos, también se puede hacer uso de mezcladoras mecánicas para esta labor.
5. Compactación: enseguida se realiza la compactación del material para lo cual se requiere humedecerlo con una cantidad de agua cercana a la óptima, el agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas del camión cisterna. La humedad se homogeneiza en todo el material por medio de motoconformadoras, una vez realizado esto se extiende el material, se compacta hasta alcanzar el grado requerido por el proyecto. Para aumentar la resistencia de estas capas se puede agregar cemento

portland o bien cal, la compactación se realiza con maquinas de rodillos salientes, con pesos de 15 a 20 ton y con o sin unidad vibratoria..

6. Riego de impregnación o de liga: una vez seca la capa y con las condiciones de compactación requeridas, se procede a barrer la superficie ya sea manual o mecánicamente, para aplicar asfalto FM-1.

2.7.4 Carpetas asfálticas

Para este tipo de carpetas se sigue el siguiente proceso de construcción:

1. Se eligen los bancos de material pétreo, que en general serán de roca masiva como balasto, riolitas, andesitas, calizas o bien bancos de conglomerados; pero conviene que estos tengan suficiente desperdicio para triturarse.

2. Se determina la granulometría requerida así como la determinación de contenido óptimo de asfalto, con base en estos datos se determina el abastecimiento de los materiales hacia la planta mezcladora.

3. Se realiza la extracción de materiales en banco, haciéndose necesario en la mayoría de los casos el uso de explosivos, y para su transportación de palas mecánicas, etc.

Para el triturado y cribado del material se requiere de una trituradora de quijadas, una o dos de cono o de rodillos, criba y bandas, en esta etapa se hace necesario el almacenamiento de cuatro tipos de tamaños diferentes.

4. En la planta de mezclado, se realiza un primer proporcionamiento aproximado de pétreos en frío, por medio de cargadores frontales o utilizando las compuertas de las tolvas, auxiliadas por bandas.

5. Por medio de elevadores de cangilones, el material se lleva al cilindro de calentamiento y de secado, aquí los pétreos se calientan entre 150° y 170°C.

6. Una vez con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez en cangilones a la unidad de mezclado, en donde, en primer término, se hace un cribado para alimentar a 3 o 4 tolvas con material de diferentes tamaños, se pesa la cantidad de cada uno de ellos requerida y se deposita en la caja mezcladora en donde se adiciona el cemento asfáltico, a una temperatura de 130° a 140°C. se realiza la mezcla hasta su completa homogenización y por último se hace el vaciado a los equipos de transportación.

7. Se transporta la mezcla procurando conservar una temperatura de 110. a 120°C. Al llegar el equipo de transporte al tramo, descarga su contenido en la maquina extendedora (finisher) que forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregaciones del material y dándole una pequeña compactación.

8. A una temperatura mayor de 90°C, se debe iniciar la compactación de la franja para lo cual se hace uso de rodillos de aproximadamente 7 ton, para dar un primer armado y permitir posteriormente la entrada de equipo de 15 ton.

1. Se eligen los bancos de los materiales pétreos (arena y grava), para lo cual es necesario realizar una exploración de la zona en donde se construirá la obra; que pueden ser playones de río o arroyo, depósitos de materiales, aglomerados o conglomerados o roca, se muestrean y se llevan al laboratorio para que se realicen las pruebas de

clasificación necesarias, y con estudio económico se decide cuales bancos se van a utilizar.

2. Se elige el tipo y marca de cemento Portland, así como los aditivos que se usarán y se encuentran las proporciones en que intervendrán: cemento, agua, arena y grava.

3. Se extrae el material de los bancos; si se trata de conglomerados o roca se deben usar explosivos y para cualquier material, dependiendo de los tamaños mismos, para cargarlos en los transportes se utilizan desde palas manuales hasta palas mecánicas.

4. Se realizan los tratamientos previos necesarios como cribado, triturado. lavado.

5. Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, ya sea al pie de la obra si se utilizan mezcladoras, o bien a las plantas de mezclado.

6. Se realiza el mezclado de los materiales, para lo cual, se deberán llevar a cabo las correcciones necesarias, principalmente por la humedad que contienen los pétreos; asimismo, se hará la calibración de los envases o la velocidad de las bandas o abertura de compuertas, para que de acuerdo a la capacidad de la revoladora se realice la dosificación de los materiales, que puede ser por volumen o por peso.

7. La sub-base debidamente compactada e impregnada se humedecerá para que no absorba agua del concreto fresco, y una vez mezclados adecuadamente los ingredientes, se realiza el vaciado en el encofrado o moldes, los cuales se deben colocar con la debida anticipación y fijados a la sub-base de tal manera que no vayan a tener movimientos con la presión del concreto fresco. También con anticipación se debe colocar el acero necesario para las pasajuntas; este acero debe estar soportado, de tal forma que se encuentre a la mitad del espesor de la losa.

8. El concreto vaciado en el encofrado deberá acomodarse o compactarse por medio de vibradores de inmersión para darle la densidad adecuada; enseguida, se enrasa la mezcla por medio de un vibrador de superficie, con lo cual se da el espesor necesario y un primer acabado.

9. Se dará a la superficie el acabado necesario para que tenga el coeficiente de rugosidad que se requiere, lo cual se puede hacer por medio de cepillos, escobas o utilizando telas fibrosas. Existen también maquinas acanaladoras especiales, que realizan un trabajo muy fino en la superficie de rodamiento y que además de aumentar la fricción entre la llanta y la superficie, evitan el acuaplaneo, ya que el agua de lluvia, no drena con rapidez hacia los lados, es atrapada por lo pequeños canales al paso de los vehículos.

10. Se elaboran las juntas transversales de contracción, para lo cual, en los lugares señalados por medio de una cortadora de sierra se forman las muescas que servirán para debilitar la sección del concreto y obligarlo a que se agriete. El aserrado se debe realizar entre 24 y 36 horas después del colado, de tal manera, que al elaborarse la muesca no se provoquen desprendimientos de concreto a los lados de la sierra.

Se deberán sellar lo más pronto posible estas muescas para evitar que entren en ellas partículas que puedan provocar concentraciones de esfuerzo y posibles despostillamientos de las orillas de las losas. Para el sellado se pueden emplear materiales de tipo termoplástico, como el cemento asfáltico, que endurecen al enfriarse o los del tipo de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuro o poliuretanos.

También se deben efectuar las juntas de expansión, colocando los materiales de relleno y el aserrado donde se requieren.

Las obras no se deben abrir al tránsito hasta que el pavimento alcance la resistencia de proyecto. Estos son los procesos constructivos generales para pavimentos aún cuando la selección de un pavimento diferente requiere de otras consideraciones, pero de manera general seguirán un proceso similar.

2.8 Materiales¹⁵

Los materiales para pavimentos aquí presentados son los que se encuentran normalizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2.8.1 Materiales para Revestimiento

Son materiales granulares o suelos seleccionados con características específicas, que se colocan sobre las terracerías, para formar un revestimiento como capa de rodadura en caminos con baja intensidad de tránsito. Su finalidad es distribuir las cargas de los vehículos, sobre las terracerías para evitar que éstas sean deformadas o levantadas por el tránsito.

Estos materiales, según el tratamiento que reciban, se pueden clasificar como se indica a continuación:

2.8.1.1 Por su tratamiento mecánico

a) Materiales que no requieren tratamiento mecánico

Son las arenas y gravas, que al extraerlas en el camino quedan sueltas y que no contienen más del cinco (5) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”), las que serán eliminadas manualmente.

b) Materiales que requieren ser disgregados

Son los limos y arenas fuertemente cementados, caliches y conglomerados, así como rocas muy alteradas, que al extraerlos resultan con terrones que pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria; una vez disgregados, no contendrán más del cinco (5) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”), las que serán eliminadas manualmente.

c) Materiales que requieren ser cribados

Son las mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen entre el cinco (5) y el veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”), que requieren un tratamiento de cribado por una malla con abertura de setenta y cinco (75) milímetros (3”), para hacerlos utilizables.

¹⁵ Normativa para la Infraestructura del Transporte. Carreteras. Características de los materiales. SCT 2009.

d) **Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados**

Son las mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen más del veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3"), que requieren un tratamiento de trituración y cribado por una malla con abertura de setenta y cinco (75) milímetros (3"), para hacerlos utilizables.

e) **Mezcla de dos o más materiales con o sin tratamiento mecánico**

Es la combinación de dos o más materiales que, debido a sus características, pueden o no recibir alguno de los tratamientos mecánicos mencionados en esta Fracción. En general, por el costo que esta operación representa, no es aconsejable utilizar mezclas.

2.8.1.2 Por su tratamiento químico

- a) Materiales modificados con el producto de la recuperación de carpetas asfálticas.
- b) Materiales modificados con cementos hidráulicos.
- c) Materiales modificados con cal.
- d) Materiales estabilizados con productos químicos.

2.8.2 Materiales para Bases Hidráulicas

Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subbase o la subrasante, para formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico.

Estos materiales, según el tratamiento que recibieron, pueden ser:

a) **MATERIALES CRIBADOS**

Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso, disgregados, si contienen entre el cinco (5) y el veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3.) y no más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200), para hacerlos utilizables requerirán de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

b) **MATERIALES PARCIALMENTE TRITURADOS**

Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, que contienen de veinticinco (25) a setenta y cinco (75) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3.), que para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

c) **MATERIALES TOTALMENTE TRITURADOS**

Son los materiales extraídos de un banco o pepenados, que requieren un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

d) **MATERIALES MEZCLADOS**

Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales a que se refieren las Fracciones B.1. a B.3., en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en esta Norma.

En cada caso la elección del tratamiento más conveniente corresponderá al Contratista de Obra, asegurándose que se cumplan los requisitos de calidad de esta Norma.

2.8.3 Materiales para Estabilizaciones.

2.8.3.1 Cal para Estabilizaciones

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas, constituido principalmente por óxido de calcio (CaO) y otros componentes. La adición de cal en los materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, subbases y bases, por sus diferentes reacciones, en mayor o menor grado, produce aumento en el límite líquido y disminución en el índice plástico; aumenta la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos; aumenta la resistencia a la compresión simple y el CBR. Según su composición química se clasifica en:

a) **CAL VIVA**

Producto de la calcinación de la roca caliza, constituido en su mayor parte por óxido de calcio (CaO), o bien óxido de calcio asociado con óxido de magnesio (MgO), capaces de reaccionar con el agua exotérmicamente, lo que produce su apagado o hidratación. Junto con la cal hidratada, la cal viva es la más utilizada para la estabilización. Sus principales ventajas son que presenta una mayor reactividad con los materiales por estabilizar y menor generación de polvo durante su utilización.

b) **CAL APAGADA O HIDRATADA**

Polvo seco, obtenido al tratar cal viva con la suficiente agua para satisfacer su afinidad química, provocando su hidratación. Consiste esencialmente en hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$ o una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio (MgO) e hidróxido de magnesio $[Mg(OH)_2]$. Junto con la cal viva, la cal hidratada es la más utilizada para la estabilización. Su principal ventaja es que ofrece menor peligro durante su transporte, manejo y utilización.

Por razones ecológicas, en general no es aceptable utilizar cal viva. Se emplea preferentemente como cal apagada y en lechada, excepto cuando se requiere disminuir el contenido de agua de los suelos.

c) **CAL HIDRÁULICA HIDRATADA**

Producto cementante seco, hidratado, obtenido al calcinar calizas que contienen sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃) a una temperatura cercana a la de fusión

incipiente, de tal forma que se obtiene suficiente óxido de calcio (CaO) para permitir la hidratación y, al mismo tiempo, dejando suficientes silicatos de calcio (CaSiO₃) sin hidratar, con lo que resulta un polvo seco, que cumple con las propiedades hidráulicas requeridas en algunas aplicaciones, destacándose la propiedad de fraguar y endurecer, aun bajo el agua.

d) CAL HIDRATADA, AL ALTO CALCIO

Cal hidratada, producto de la calcinación de calizas, contaminadas con menos del cinco (5) por ciento de carbonato de magnesio (MgCO₃).

e) CAL DOLOMÍTICA

Cal obtenida de la calcinación de calizas que contiene del treinta y cinco (35) al cuarenta y seis (46) por ciento de carbonato de magnesio (MgCO₃).

2.8.4 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

Los materiales pétreos que comprende esta Norma son los materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-003, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.

Según el tipo de mezcla en el que se vayan a utilizar, los materiales pétreos se clasifican como se indica a continuación y se detalla en las Cláusulas D. a H. de esta Norma.

- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta
- Materiales pétreos para mortero asfáltico
- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

2.8.4.1 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo.

Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado, se clasifican como sigue:

2.8.4.2 Mezclas asfálticas en caliente

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:

a) Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros ($1\frac{1}{2}$ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros ($\frac{3}{8}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

b) Mezcla asfáltica de granulometría abierta

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre doce coma cinco (12,5) milímetros ($\frac{1}{2}$ in) y seis coma tres (6,3) milímetros ($\frac{1}{4}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de seiscientos (600) milímetros por año.

c) Mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Al tener una elevada macrotextura se evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas; se minimiza el acuaplaneo; se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes; se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y se reduce el ruido hacia el entorno por la fricción entre las llantas y la superficie de rodadura.

2.8.4.3 Mezclas asfálticas en frío

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

a) Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

b) Mortero asfáltico

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de dos coma treinta y seis (2,36) milímetros (N°8), que satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula F. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

c) Mezclas asfálticas por el sistema de riegos.

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes que, según su denominación, satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula G. de la Norma N·CMT·4·04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos y de tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al derrapamiento y al pulimento.

2.8.5 Materiales para Subbases y Bases

2.8.5.1 Materiales para Subbases

Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos.

Estos materiales, según el tratamiento que recibieron, pueden ser:

a) MATERIALES NATURALES

Son las arenas, gravas y limos, así como rocas muy alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez

extraídos y, en su caso, disgregados, no contendrán más del cinco (5) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3.), las que serán eliminadas manualmente, ni más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200).

b) MATERIALES CRIBADOS

Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso, disgregados, si contienen entre el cinco (5) y el veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3.) y no más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200), para hacerlos utilizables requerirán de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

c) MATERIALES PARCIALMENTE TRITURADOS

Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, que contienen de veinticinco (25) a setenta y cinco (75) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3.), que para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

d) MATERIALES TOTALMENTE TRITURADOS

Son los materiales extraídos de un banco o pepenados, que requieren un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

e) MATERIALES MEZCLADOS

Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales a que se refieren las Fracciones B.1. a B.3., en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en esta Norma.

B.6. En cada caso la elección del tratamiento más conveniente corresponderá al Contratista de Obra, asegurándose que se cumplan los requisitos de calidad de esta Norma.

2.8.5.2 Materiales para Bases Tratadas

Son materiales granulares que no cumplen con alguno de los requisitos de calidad establecidos en la Norma N.CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas* o que, por razones estructurales, requieren la incorporación de un producto que modifica alguna de sus características físicas, generalmente haciéndolos más rígidos y resistentes, mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico, para ser colocados sobre la subbase o la subrasante y formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico.

Estos materiales, según el producto que se utilice en su tratamiento, se clasifican como:

- a) Materiales modificados con cal. Cuando se les incorpora de dos (2) a tres (3) por ciento en masa, de cal, para modificar su plasticidad o reducir el efecto de la materia orgánica en los suelos.
- b) Materiales modificados con cemento. Cuando se les incorpora de tres (3) a cuatro (4) por ciento en masa, de cemento Pórtland, para modificar su plasticidad o incrementar su resistencia.
- c) Materiales estabilizados con cemento. Cuando se les incorpora de ocho (8) a diez (10) por ciento en masa, de cemento Pórtland, para obtener una resistencia a la compresión simple a los veintiocho (28) días de edad, no menor de dos coma cinco (2,5) megapascales (25 kg/cm²) e incrementar su rigidez, reduciendo así el efecto de la fatiga sobre la carpeta o mejorando el apoyo de las losas de concreto hidráulico.
- d) Materiales estabilizados con asfalto. Cuando se les incorpora, mediante una emulsión o un asfalto rebajado, de tres (3) a cuatro (4) por ciento en masa, de cemento asfáltico, para mejorar su comportamiento y el efecto de la plasticidad.
- e) Base de mezcla asfáltica (*Base negra*). Cuando a los materiales se les incorpora, en caliente o en frío, de cuatro (4) a cinco (5) por ciento en masa, de cemento asfáltico, para formar una capa de concreto asfáltico magro.
- f) Base de concreto hidráulico magro o de baja resistencia. Cuando a los materiales se les incorpora el cemento Pórtland necesario para obtener una resistencia a la compresión simple a los veintiocho (28) días de edad, de catorce coma siete (14,7) megapascales (150 kg/cm²) a diecinueve coma seis (19,6) megapascales (200 kg/cm²) y transformar un pavimento flexible en un pavimento rígido, como es el caso de concretos compactados con rodillo o de la recuperación en frío de pavimentos asfálticos y su base hidráulica.

2.9 Tipos de Pavimentos ¹⁶

Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. El pavimento es el usado también para la construcción de vías de comunicación.

Existen básicamente dos tipos de pavimentos. Los llamados flexibles y los rígidos, existe además una tercera clasificación llamada semirígidos pero esta última no es común.

2.9.1 Flexibles

La superficie de rodamiento de estos pavimentos es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales,

¹⁶ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. Rico Rodríguez Alfonso, Mendoza Díaz Alberto, Téllez Gutiérrez Rodolfo, Mayoral Grajeda Emilio Francisco, (1998) IMT. Publicación Técnica.

y que la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura.

a) Capa de subrasante

Es la capa que se encuentra inmediatamente encima de la cama de los cortes, o del cuerpo de un terraplén, sirve para el desplante de un pavimento.

b) Capa de sub-base

Es una capa de transición entre la base y la subrasante, a la que se le atribuye, una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consecuencia de mayor costo. Esta capa puede servir para absorber las deformaciones de las terracerías, debidas a cambios volumétricos por efectos de humedad y efectos de rebote elástico. Otra de las funciones puede ser desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y a su vez impedir la ascensión de la misma procedente de las terracerías por el fenómeno de capilaridad (capa rompedora de capilaridad).

El material que se use en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado según las especificaciones propias de cada proyecto.

c) Capa de base

Esta capa es la proporción del pavimento flexible inmediatamente debajo de la carpeta (capa de rodamiento). Se construye sobre la capa de sub-base o, si esta no se usa, directamente sobre la subrasante.

Su principal función es como una porción estructural del pavimento, cumpliendo la labor de soportar las cargas que le trasmite la carpeta y abatir los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que ellas lleguen a las capas subyacentes con la magnitud que estas resistan, el incremento en su resistencia se logra gracias a la trabazón entre partículas dada su forma angulosa.

Otra función de la capa base, puede ser la de drenar el agua que se infiltre de la carpeta e impedir la ascensión capilar del agua natural. Por último cabe mencionar que esta tiene objetivos económicos, pues al aumentar el espesor de esta capa se pueden reducir espesores en la carpeta, que es más costosa, lo que redundara en un ahorro bastante considerable.

La base comúnmente consta de agregados como roca triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. Los agregados pueden usarse tratados o no, en aglomerantes estabilizadores como el cemento Portland, puzolanas, asfalto o cal.

En general, las especificaciones de los materiales de la capa base son considerablemente más estrictas que las de la capa sub-base para resistencia, estabilidad, dureza, tipos de agregados y graduación.

d) Carpeta

Los vehículos ruedan sobre esta parte del pavimento. Sus funciones son las de soportar los efectos del tránsito y contar con una textura y color apropiados, es decir deberá ser antiderrapante y antideslumbrante.

Por otra parte la carpeta deberá ser tan impermeable como se pueda, es decir, la carpeta no es totalmente impermeable, pues se tendría un exceso de asfalto, lo que implicara que la carpeta fuera inestable y se deforme al paso de los vehículos.

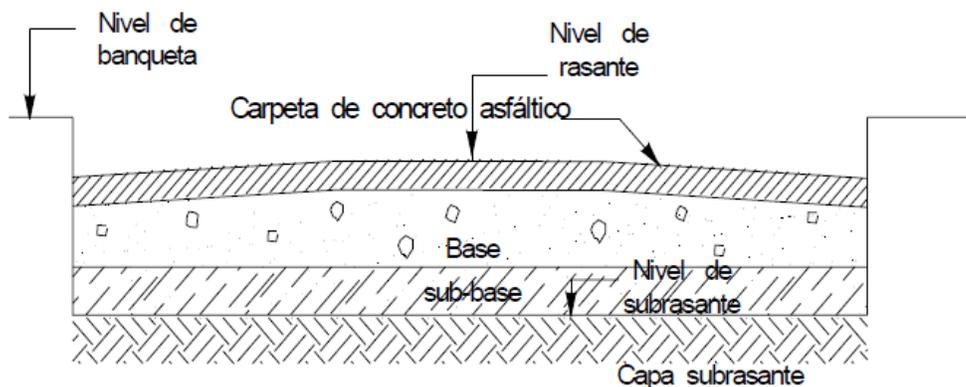
Toda carpeta es resultado de una mezcla de materiales pétreos y asfálticos adecuadamente tratados, que posteriormente se extienden y compactan.

En el caso de pavimentos flexibles, esta capa está constituida básicamente por un aglutinante de asfalto. Las especificaciones de construcción exigen que antes de colocar una carpeta se aplique material liquido asfáltico sobre las capas de base de agregado sin tratar, como una capa primaria (Riego de sello), y en las capas tratadas y superficiales como una capa de liga.

La estructura de un pavimento flexible se puede proyectar para que resista, sin romperse o deformarse en forma perjudicial, cualquier densidad de transito y cualquier carga por eje que se le aplique, existiendo una gran cantidad de combinaciones que permiten un proyecto económico para tales condiciones.

Figura 3. Estructura típica de un pavimento flexible

Fuente: ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. Rico Rodríguez Alfonso, Mendoza Díaz Alberto, Téllez Gutiérrez Rodolfo, Mayoral Grajeda Emilio Francisco, (1998) IMT. Publicación Técnica.



Nota: El espesor de las capas puede variar según el cálculo para el diseño del pavimento teniendo como espesor mínimo 10 cm para la carpeta asfáltica.

2.9.2 Rígidos¹⁷

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, es necesario la construcción de una capa de sub-base para evitar que los tinos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa.

La sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la sub-base, que se construyen sobre la capa subrasante.

a) Capa de subrasante

De las mismas características que para pavimentos flexibles.

b) Capa sub-base

De las mismas características que para pavimentos flexibles.

c) Losas de concreto hidráulico

Las losas de concreto hidráulico se construyen sobre la sub-base y proporcionan la superficie de rodamiento.

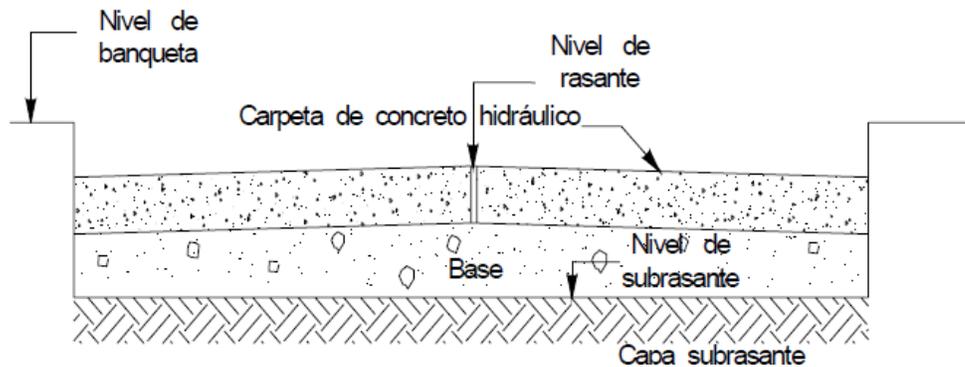
El concreto hidráulico es un material pétreo artificial, que se elabora mezclando parte de agua y Cemento Portland, con arena y grava en proporciones tales que se produzcan la resistencia y densidad deseadas.

Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y granulometría.

¹⁷ ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. Rico Rodríguez Alfonso, Mendoza Díaz Alberto, Téllez Gutiérrez Rodolfo, Mayoral Grajeda Emilio Francisco, (1998) IMT. Publicación Técnica.

Figura 4. Estructura típica de un pavimento rígido.

Fuente: ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. Rico Rodríguez Alfonso, Mendoza Díaz Alberto, Téllez Gutiérrez Rodolfo, Mayoral Grajeda Emilio Francisco, (1998) IMT. Publicación Técnica.



Nota: El espesor de las capas puede variar según el cálculo para el diseño del pavimento teniendo como espesor mínimo 20 cm para la losa de concreto.

2.10 Impacto Ambiental¹⁸

2.10.1 Definición y Tipos de Impacto Ambiental

Las grandes obras de infraestructura producen distintos efectos al medio ambiente, por lo cual son debemos ubicar y clasificar estos efectos, con el objeto de identificar y valorar los impactos potenciales que futuras obras de este tipo generarán al ambiente.

El impacto ambiental es la transformación, modificación o alteración de cualquiera de los componentes del medio ambiente (biótico, abiótico y humano), como resultado del desarrollo de un proyecto en sus diversas etapas.

La información sobre los impactos ambientales potenciales de una acción propuesta forma la base técnica para comparaciones de alternativas, inclusive la alternativa de no acción. Todos los efectos ambientales significativos, inclusive los beneficiosos, deben recibir atención.

Aunque el término de “impacto ambiental” se ha interpretado en el sentido negativo, muchas acciones tienen efectos positivos significativos que deben definirse y discutirse claramente (generación de empleos, beneficios sociales, entre otros).

A continuación se definen los impactos ambientales más comunes que se presentan en las Obras Públicas.

¹⁸ IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.

a) Impacto Primario.- Cualquier efecto en el ambiente biofísico o socioeconómico que se origina de una acción directamente relacionada con el proyecto; puede incluir efectos tales como: destrucción de ecosistemas, alteración de las características del agua subterránea, alteración o destrucción de áreas históricas, desplazamiento de domicilios y servicios, generación de empleos temporales, aumento en la generación de concentraciones de contaminantes, entre otras.

b) Impacto Secundario.- Los impactos secundarios cubren todos los efectos potenciales de los cambios adicionales que pudiesen ocurrir más adelante o en lugares diferentes como resultado de la implementación de una acción en particular, estos impactos pueden incluir: construcción adicional y/o desarrollo, aumento del tránsito, aumento de la demanda recreativa y otros tipos de impactos fuera de la instalación generados por las actividades de la instalación.

c) Impactos a Corto Plazo y Largo Plazo.- Los impactos pueden ser a corto o largo plazo, dependiendo de su duración. La identificación de estos impactos es importante porque el significado de cualquier impacto puede estar relacionado con su duración en el medio ambiente. La pérdida de pasto u otra vegetación herbácea corta en un área podría considerarse un impacto a corto plazo, porque el área podría revegetarse muy fácilmente en un corto tiempo, sin embargo, la pérdida de un bosque maduro se considera un impacto a largo plazo debido al tiempo necesario para reforestar el área y para que los árboles lleguen a la madurez.

d) Impacto Acumulativo.- Son aquellos impactos ambientales resultantes del impacto incrementado de la acción propuesta sobre un recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y razonablemente esperadas en el futuro. Las circunstancias que generan impactos acumulativos podrían incluir: impactos en la calidad del agua debidos a una emanación que se combina con otras fuentes de descargo, pérdida y/o fragmentación de hábitats ambientalmente sensitivos resultante de la construcción de varios desarrollos residenciales. La evaluación de impactos acumulativos es difícil, debido en parte a la naturaleza especulativa de las acciones futuras posibles y en parte debido a las complejas interacciones que necesitan evaluarse cuando los efectos colectivos se consideran.

e) Impacto Inevitable.- Es aquel cuyos efectos no pueden evitarse total o parcialmente, y que por lo tanto requieren de una implementación inmediata de acciones correctivas.

f) Impacto Reversible.- Sus efectos en el ambiente pueden ser mitigados de forma tal, que se restablezcan las condiciones preexistentes a la realización de la acción.

g) Impacto Irreversible.- Estos impactos provocan una degradación en el ambiente de tal magnitud, que rebasan la capacidad de amortiguación y repercusión de las condiciones originales.

i) Impacto Residual.- Es aquel cuyos efectos persistirán en el ambiente, por lo que requiere de la aplicación de medidas de atenuación que consideren el uso de la mejor tecnología disponible.

j) Impacto Mitigado.- Aquel que con medidas de mitigación (amortiguación, atenuación, control, etc.) reduce los impactos adversos de una acción propuesta sobre el medio ambiente afectado.

2.10.2 Impactos ambientales y sus medidas de mitigación por etapas¹⁹

Se pueden clasificar en cuatro etapas, iniciando con la etapa de Pre – Construcción en la que se incluyen las actividades de proyecto y las afectaciones; la segunda etapa es la de Preparación del Sitio,; la tercera es la etapa de Construcción y la cuarta y última es la de Operación y Mantenimiento.

Cada una de estas etapas está conformada por una serie de actividades y para cada una de ellas se presentan las medidas de mitigación más frecuentemente encontradas. Vale la pena señalar que los impactos ambientales no pueden ser tipificados de acuerdo a su relevancia, ya que ésta varía dependiendo de las condiciones específicas en donde se implantará el proyecto; de igual forma, podrán existir medidas de mitigación que no sean aplicables para un tipo de proyecto determinado, como es el caso de caminos rurales, por las limitaciones presupuestales para este tipo de infraestructura o en su defecto, por no presentarse el impacto ambiental especificado.

1. Etapa de pre – construcción

La etapa de pre – construcción, está definida como todos los trabajos que se desarrollan hasta la entrega del proyecto ejecutivo que ha de implantarse, incluyendo la liberación del derecho de vía.

Se da por hecho que el proceso de planeación ha sido completado hasta la etapa de prefactibilidad del proyecto; es decir, se detectó la necesidad, se establecieron las posibles alternativas de solución (en este caso proyectos) y se hizo una selección de la mejor alternativa. Además se considera que dentro de esta secuencia de tareas no existen impactos adversos al medio ambiente, aunque existen corrientes de que es precisamente en la planeación donde se gestan los mayores impactos medioambientales, puesto que es cuando se decide si conviene o no realizar una obra.

La etapa de pre – construcción contiene exclusivamente dos actividades: Proyecto y afectaciones, para las cuales se definen los posibles impactos y se presentan una serie de medidas de mitigación factibles de llevarse a cabo, a fin de minimizar aquellos que resulten adversos.

Respecto a los proyectos específicos que conforman el proyecto ejecutivo, como son los de drenaje, pavimento, señalamiento, etc., se considera que no tienen repercusiones en el medio ambiente, puesto que son trabajos de gabinete y que el posible impacto adverso se generará en la etapa de construcción.

De manera general debe suponerse que tanto las afectaciones como las acciones preventivas fueron analizadas en la etapa de planeación y diseño del proyecto y se

¹⁹ IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro

entiende que en la ruta elegida se consideró la mejor alternativa de trazo tomando en cuenta criterios medioambientales, sociales, técnicos y económicos; sin embargo, dentro de las manifestaciones de impacto ambiental estudiadas, no se encontraron especificados estos impactos y por ende, no hubo medidas de mitigación y es por ello que se incluyen en este apartado.

En el cuadro siguiente se presentan las actividades dentro de esta etapa que pueden tener impactos, indicando el tipo y las medidas de mitigación correspondientes.

Tabla 9. Impacto ambiental en la etapa de pre – construcción

Fuente: IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Proyecto	Un mal proyecto puede producir deslaves, hundimientos, deslizamientos y demás movimientos masivos en los cortes cuando llegue el momento de la ejecución de la obra.	Trazar la ruta de tal manera que se eviten las áreas inherentemente inestables. Incluir la estabilidad de cortes con estructuras como paredes de concreto, albañilería seca, gaviones, etc.
Afectaciones	Afectación a la actividad Agropecuaria	No mitigable
	Afectación a propietarios de terrenos	Compensación económica Reubicación de propietarios
	Inducción de migraciones y cambios en la densidad de población	No mitigable
	Afectación sobre el uso de suelo habitacional	Compensación económica Reubicación de propietarios Modificación del trazo

2. Etapa de preparación del sitio

La etapa de preparación del sitio, se refiere a las actividades que se llevan a cabo como inicio de la construcción de una carretera. Si bien podría considerarse como parte de la construcción en sí, en la mayoría de los estudios de impacto ambiental es tomada como un rubro separado a la construcción, por lo que se tomó la decisión de hacerlo de la misma manera para facilitar las comparaciones entre los diversos estudios de impacto ambiental efectuados para carreteras con el presente documento.

Son exclusivamente dos las tareas que se incluyen dentro de esta etapa, el desmote y despalme para preparar el terreno donde se ha de construir el camino, y los caminos de accesos que se “construyen” cuya función es la de permitir el tránsito de la maquinaria y equipo, los cuales no cumplen especificaciones técnicas y tienen la particularidad de ser temporales, es decir, que solamente se utilizan durante la construcción y una vez terminada se inhabilitan o abandonan en buena parte de los casos.

Evidentemente, el desmonte y el despalme son los que mayor impacto tienen en el medio ambiente, por lo que se proponen medidas de mitigación para los efectos adversos en el agua (corrientes superficiales y subterráneas), topografía, aire, ruido, suelo, microclima, fauna y paisaje.

Vale la pena señalar el hecho de que se presentan impactos no mitigables, como es la modificación de la topografía, puesto que la única reducción del impacto implica la modificación del proyecto y a su vez podría repercutir en el no cumplimiento de las especificaciones técnicas con las que fue diseñado. En este sentido, se optó por describir el impacto y especificar “no mitigable”, sobre todo por la premisa de que el proyecto fue bien elaborado y que da respuesta a una necesidad clara de movilidad dentro de la zona de estudio.

Para el caso de los caminos de acceso, solamente se incluye el impacto temporal sobre el suelo (capa vegetal), por las razones expuestas con anterioridad.

En el cuadro siguiente se presentan las actividades, indicando el tipo y las medidas de mitigación correspondientes.

Tabla 10. Impacto ambiental en la etapa de preparación del sitio

Fuente: IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Desmonte y despalme	Afectación de las corrientes de agua por mala disposición del material removido	Disposición del material lejano a las corrientes de agua
	Contaminación de la corriente de agua superficial	Disposición del material lejano a las corrientes de agua Colocación de malla sobre los cuerpos de agua para evitar sólidos suspendidos Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos
	Obstrucción de ríos y arroyos	Disposición del material lejano a las corrientes de agua
	Contaminación del suelo	Evitar el uso de herbicidas o agroquímicos
	Erosión	Inducir vegetación en las áreas aledañas a los desmontes y despalmes para detener la erosión Reutilización de la capa orgánica sobre el derecho de vía, una vez terminada la construcción de la carretera Programar las obras en época de estiaje para evitar la erosión hídrica
	Modificación de la Topografía	No mitigable

	Contaminación del aire por humos	Evitar la quema de la vegetación Acatamiento a la norma oficial mexicana NOMCCAT-007-ECOL 1993 para unidades que utilizan diesel como combustible. (La norma establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógenos, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores que usan diesel como combustible).
	Cambios en el microclima	Los efectos pueden minimizarse estableciendo vegetación, al concluir las obras, en camellones y a ambos lados de los cuerpos
	Ruido	No mitigable
	Remoción de la capa de suelo fértil	Realizar un programa de rescate de flora, previo al desmonte, especialmente la que sea de utilidad en la región Reutilización del material para posteriores actividades como arroje de taludes, reforestación, etc.
	Afectación del hábitat de fauna silvestre	No mitigable
	Perturbación y desplazamiento de la fauna silvestre	Evitar los trabajos en época de reproducción, sobre todo en casos de especies en peligro de extinción o de alto valor para la región Evitar la caza furtiva Realizar el desmonte de manera paulatina para permitir el desplazamiento de la fauna
	Modificación del paisaje	No mitigable
	Remoción de la capa Vegetal	Recolección y conservación de la capa vegetal, que será utilizado en la revegetación de estos caminos, previa escarificación
Caminos de acceso	Remoción de la capa vegetal	Recolección y conservación de la capa vegetal, que será utilizado en la revegetación de estos caminos, previa escarificación En esta actividad se generan los mismos impactos que la construcción del camino principal pero de menor magnitud, los cuales desaparecerán al igual que el camino, una vez puesta en operación la carretera. Por lo cual se considera sólo un impacto poco significativo.

3. Etapa de construcción

De la amplia gama de medidas correctoras que se proponen, sólo algunas de ellas van a ser aplicadas, ya sea porque son poco factibles por limitaciones espaciales y presupuestales, o bien, porque dependen de cómo se efectúan las obras.

La calidad de la construcción y sus impactos ambientales dependen en alto grado del tipo de terreno, la experiencia de los trabajadores o del contratista y la calidad de la supervisión durante la construcción. Por lo cual el control de calidad durante la construcción puede reducir significativamente las necesidades de mantenimiento, menor

pérdida de suelos, fallas menores en los drenajes o alcantarillas del camino, como consecuencia disminuirán los impactos ambientales.

En esta etapa se consideraron las siguientes actividades:

- Campamentos y oficinas de campo
- Excavación y nivelación
- Obras de drenaje y subdrenaje
- Cortes y terraplenes
- Explotación de bancos de material
- Acarreos de material
- Operación de maquinaria y equipo
- Plantas de asfalto, concreto, trituradoras, talleres y patios de servicio
- Pavimentación
- Puentes y pasos vehiculares
- Obras complementarias de drenaje y subdrenaje
- Manejo y disposición de residuos de obra
- Señalamiento
- Servicios adicionales al usuario

Se debe evitar en todo lo posible la modificación de terrenos para reducir al mínimo los problemas de drenaje e implementar un diseño apropiado. Los problemas de drenaje frecuentemente ocasionan los impactos más grandes en los caminos debido a la erosión, sedimentación y degradación de calidad del agua. Otros puntos que afectan de manera importante el ambiente en esta etapa son la inestabilidad de taludes y el control de la erosión.

Tabla 11. Impacto ambiental en la etapa de construcción

Fuente: IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Campamentos y oficinas de campo	Contaminación de las corrientes superficiales de agua	Instalación de sanitarios portátiles, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y eliminación de químicos. En caso de existir una población cercana se deberá conectar al drenaje municipal. Vigilar que no existan vertimientos de aguas residuales, desechos de obra, ni fecalismo en ríos, arroyos o canales de riego. El agua de lavado de los trabajadores se debe captar en tambos o bien en el sistema de drenaje municipal.
	Extracción de agua	Proporcionar agua potable a los trabajadores, evitando la toma indiscriminada de diferentes fuentes de abastecimiento superficial o subterráneo.

	Contaminación del suelo	Se colocarán botes para el almacenamiento de los residuos sólidos, vigilando su transportación periódica al basurero municipal. Al término de la obra se deberá limpiar el terreno y adicionar una capa de tierra vegetal producto del desmote y despirme.
	Contaminación del aire	Evitar las fogatas.
	Contaminación del aire provocado por los motores de las plantas generadoras de luz	Que los motores a Diesel o gasolina cumplan con las normas correspondientes.
Excavación y nivelación	Drenaje superficial	Colocación de malla sobre los cuerpos de agua para evitar sólidos suspendidos. Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos.
	Incremento en la erosión de los suelos	Programar las obras en época de estiaje para evitar la erosión hídrica.
	Afectación de suelo e hidrología	Definir los lugares donde será depositado el material no empleado, cuidando la no-afectación de corrientes de agua superficiales y zonas de alta productividad agrícola. Reutilización del material no empleado para posteriores actividades.
	Contaminación del aire	Humedecer la superficie a excavar para evitar partículas suspendidas.
	Riesgo de accidentes	Colocación de extinguidores en sitios visibles y de fácil acceso. Contar con un botiquín de emergencias y tener identificado el hospital más cercano, así como la ruta de acceso más corta y segura. Establecer un sistema de seguridad en las zonas de mayor tránsito, para evitar el paso de personas ajenas a la zona de trabajo.
Obras de drenaje y subdrenaje	Incorporación de estructuras y elementos ajenos al terreno natural	No mitigable.
	Socavación	Emplear materiales no susceptibles a la erosión en la parte baja de los puentes. Colocar cimentaciones de roca. Usar disipadores de energía (zampeado o muros) a la salida de la tubería.
	Afectación a la fauna	Consultar y atender las recomendaciones de especialistas sobre hábitat de peces y su importancia.
	Contaminación de aguas Superficiales	Evitar que los residuos en la construcción de estas obras caigan en cuerpos de aguas superficiales, colocando rejillas en la entrada de alcantarillas para retener la basura. No disponer las aguas residuales en cuerpos de agua o directamente al suelo. Evitar la erosión colocando estructuras de contención tales como contrafuertes, muros de retención, gaviones y contrapesos de rocas, así como colocar a la salida de la alcantarilla zampeados o lavaderos.

Cortes y Terraplenes	Modificación de la calidad del agua	Colocar mallas para la protección de cuerpos de agua. No depositar a cielo abierto todo el material de desecho evitando el azolve de las corrientes superficiales. Monitorear la calidad del agua (sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, metales pesados, grasas y aceites). Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas. Evitar que la descarga sea directamente a las corrientes naturales, utilizar balsas de decantación, zanjas de infiltración o humedales artificiales.
	Reducción de agua superficial o subterránea	Deberán localizarse previamente las fuentes de suministro de agua para la formación de terraplenes, además de obtener los permisos correspondientes de la Comisión Nacional del Agua.
	Modificación de las tasas de infiltración de mantos de agua subterránea	No mitigable.
	Modificación de las corrientes y caudales por la modificación del drenaje natural	Suavizar pendientes de cortes y terraplenes .
	Modificación de la calidad del suelo, por contaminación con residuos sólidos, material de construcción y residuos peligrosos	Evitar la disposición sobre el suelo de los residuos sólidos orgánicos producto de la ingesta y desechos de los trabajadores, colocando tambos para depósito de la basura. Recolectar los materiales de construcción Recolectar los materiales con aceite en recipientes de acuerdo al reglamento de residuos peligrosos.
	Inestabilidad de taludes	Realizar estudio específico en cada caso para definir la solución adecuada, entre las que se pueden considerar: Suavizar las pendientes de los cortes y terraplenes, y cubrir posteriormente con suelo fértil procurando aprovechar el que se removi6 durante el despalme. En cortes con problemas de estabilidad, donde no haya suelo capaz de sostener vegetación, proteger con malla y concreto lanzado para contener el material fragmentado. En cortes con alturas superiores a 10 metros utilizar bermas para aumentar la estabilidad del talud. Para taludes rocosos inestables se podr6 colocar malla met6lica galvanizada, anclada y colocar hidrosiembra; aumentar el ancho de los.acotamientos para recepci6n de los desprendimientos o bien colocar muros de contenci6n. Colocar redes met6licas, drenes y cunetas en la cabeza del talud. Usar filtros (agregados porosos o geotextiles) para controlar los deslizamientos.

	Erosión eólica e hídrica por degradación y desaparición de la cubierta vegetal	<p>Promover un programa de rescate de vegetación que incluya el retiro de especies, su preservación durante el traslado, la resiembra y la supervisión y mantenimiento de las acciones.</p> <p>Suavizar las pendientes de los cortes y terraplenes, y cubrir posteriormente con suelo fértil procurando aprovechar el que se removió durante el despalme.</p> <p>Cortar el flujo de escorrentía antes de que el agua adquiera suficiente velocidad para iniciar el proceso erosivo, se deberán construir terrazas o bermas.</p> <p>Impermeabilizar la parte alta de los taludes.</p> <p>Revestir de roca el talud, colocando una capa filtrante (geotextil o mezcla de grava y arena) debajo del enrocado .</p>
Explotación de bancos	Eliminación de la cubierta Vegetal	En la etapa de abandono se deberá restituir el suelo.
	Disminución del recurso Suelo	No mitigable.
	Modificación de los drenajes naturales	No mitigable.
	Disminución de la productividad agrícola en la zona de influencia por la deposición de polvo	Utilizar vehículos cubiertos y manejar los materiales húmedos. Establecer procedimientos adecuados en el manejo de los materiales para evitar emisiones fugitivas de polvo.
	Modificación de los patrones naturales de recarga de aguas y drenajes subterráneos	Durante la selección del banco tomar en cuenta la información geohidrológica del lugar. Seleccionar bancos de materiales en lugares donde el nivel freático sea muy profundo.
	Generación de ruido durante la utilización de maquinaria y explosivos	No mitigable.
	Desplazamiento de la fauna por pérdida de fuente alimenticia	Restituir la vegetación como medida compensatoria en la etapa de abandono para crear nuevamente un Hábitat.
	Afectación al paisaje	El impacto visual negativo podrá ser mejorado con ayuda de las labores de restitución de suelo y vegetación. Aprovechar el material excedente de la excavación para verterlo en los huecos generados por la extracción de materiales en el banco.
Acarreos de material	Generación de polvos	Transportar el material cubierto y manejar materiales húmedos.
Operación de maquinaria y equipo	Contaminación por ruido	Los vehículos deberán cumplir con la NOM-ECOL-080-19944 y NOM-ECOL 081-19945 En caso de cruzar poblaciones, evitar el trabajo de maquinaria nocturno.
	Generación de polvos	Humedecer los materiales utilizados en la construcción de terraplenes, terracerías, bases y sub-bases.
	Contaminación del agua Superficial	Las isletas, bancadas o construcciones que se hagan bajo el NAME para soporte o movilización de la maquinaria, deberán ser removidos al terminarse la cimentación, además de utilizar roca de tamaño tal que no pueda ser arrastrada por el agua en sus niveles y velocidades propios de avenidas ordinarias. En el caso de que sea inevitable el paso de maquinaria sobre corrientes superficiales, se deberá indicar un solo sitio de cruce evitando que los camiones pasen constantemente por varias áreas. Se deberá prohibir terminantemente a los trabajadores

		lavar maquinaria sobre el lecho de las corrientes superficiales.
	Contaminación Atmosférica	Proporcionar mantenimiento al equipo (afinaciones)
	Contaminación del suelo y subsuelo por derrame de combustible	Vigilar periódicamente que el sistema de combustible no tenga fugas. En caso de requerirse almacenamiento temporal de combustible (recarga a maquinaria durante la jornada de trabajo), este deberá estar en tambos de 200 litros, alejado de corrientes superficiales y con el señalamiento adecuado.
Plantas de asfalto, concreto, trituradoras, talleres y patios de servicio	Calidad del agua	No colocar las instalaciones temporales dentro del área de drenaje natural. Colocar los materiales de desecho lejos de las corrientes superficiales y cubrirlos. Instalación de sanitarios portátiles, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y eliminación de químicos. En caso de existir una población cercana se deberá conectar al drenaje municipal. El agua de lavado de los trabajadores se debe captar en tambos o bien en el sistema de drenaje municipal.
	Generación de polvos	Las bandas transportadoras y las tolvas deberán cubrirse con lonas. Para el transporte de materiales se deberán cubrir los camiones con lonas y de ser posible transportar los materiales húmedos. Colocación de telas plásticas antipolvos alrededor de la planta en las cercas que delimitan el área.
	Contaminación del suelo	En talleres y patios de servicio colocar una plantilla de concreto para evitar que los derrames accidentales de combustibles y aceites se infiltren. Colocar los combustibles y lubricantes sobre tarimas Establecer depósitos para el acopio de los residuos sólidos. Se desmantelarán las instalaciones temporales, evitando así que estos sitios se conviertan en asentamientos irregulares permanentes. Los residuos peligrosos deberán manejarse y almacenarse de acuerdo a lo estipulado en el reglamento correspondiente. Evitar el uso de herbicidas o agroquímicos en las operaciones de desmonte y limpieza del sitio.
	Contaminación por ruido	No mitigable.
	Pérdida de la capa vegetal	Recoger la capa fértil del suelo y acamellonarla en un sitio cercano para utilizarla en la recuperación una vez concluida la obra.
	Deterioro del paisaje	Realizar un programa de restauración al término del desmantelamiento de las instalaciones
	Realizar un programa de restauración al término del desmantelamiento de las instalaciones	En caso de requerir explosivos, su almacenamiento deberá ubicarse lejos de estas instalaciones. Colocación de extinguidores en sitios visibles y de fácil acceso. Contar con un botiquín de emergencias y tener identificado el hospital más cercano, así como la ruta de acceso más corta y segura. Establecer un sistema de seguridad en las zonas de mayor tránsito, para evitar el paso de personas ajenas a la zona de trabajo.
	Pavimentación	Afectación al microclima

	Pérdida de la utilización del suelo	No mitigable.
	Contaminación de la calidad de agua	Situar la subrasante por lo menos a 1.5 metros por encima de la capa freática. Colocar parapetos para retener los sedimentos durante la construcción. Utilizar balsas de decantación.
	Afectación al su Servicios adicionales al usuario	La disposición de los sobrantes de la mezcla asfáltica deberá recogerse y, en camiones de volteo, retornarse a la planta de asfalto para su reciclado o disposición definitiva.
	Reducción de la infiltración	No mitigable.
Puentes y pasos vehiculares	Modificación de cauces	Contar con un buen proyecto hidrológico Evitar el desvío de las corrientes superficiales (si es posible construir vados).
	Interrupción temporal de corrientes	Procurar que estas obras se realicen en épocas de estiaje.
	Calidad del agua	Evitar arrojar desechos en las corrientes superficiales producto de la construcción.
Obras complementarias	Modificación del drenaje natural	Colocar las obras complementarias de drenaje (cunetas, lavaderos, bordillos, etc.) en lugares adecuados.
	Incremento a la erosión	Reforestar las zonas donde se haya modificado el drenaje superficial a fin de reducir la erosión
	Desplazamiento de fauna	Hacer un estudio de la movilidad de la fauna silvestre, así como zonas de pastoreo para colocar pasos inferiores que permitan un adecuado desplazamiento.
Manejo y disposición de residuos de obra	Contaminación del suelo y subsuelo	Establecer bancos de tiro que no interfieran con las corrientes superficiales de agua, con las zonas de recarga de acuíferos y en zonas de baja productividad agropecuaria.
	Deterioro del paisaje	Contar con un programa de restauración en bancos de tiro a fin de buscar la reutilización del suelo.
Señalamiento	Deterioro del paisaje	Evitar señalamientos adicionales en el derecho de vía.
	Reducción de la visibilidad	Plantar arbustos para destacar las curvas Plantar arbustos en isletas y desviaciones para resaltar las entradas y salidas.
Servicios adicionales al usuario	Invasión del derecho de vía	Controlar los asentamientos y cambios en el uso de suelo dentro del derecho de vía.

4. Etapa de conservación y operación

La buena conservación es esencial en los caminos. Una vez ejecutado un proyecto apropiado, el mantenimiento se debe incluir los siguientes tipos para que la carretera funcione de acuerdo al diseño: Preventivo, rutinario, correctivo y reconstrucción.

En esta etapa se consideraron dos actividades fundamentales:

- Conservación
- Tránsito vehicular

Para la conservación se analizaron los trabajos que llevan a cabo como son: Bacheo, limpieza y desazolve de cunetas, riego de sello, chapeo, limpieza y reparación de señalamiento vertical, pintura de marcas de pavimento, etc.

En la operación se estudiaron los impactos que produce la circulación, tales como contaminación del aire, ruido, basura que arrojan a la carretera, accidentes, entre otros.

Considerando que los puentes definitivamente involucran una gran inversión y requieren de seguridad, las estructuras deben ser inspeccionadas periódicamente y darles el mantenimiento adecuado.

Durante la inspección se deben examinar los siguientes puntos:

- Condición de la estructura superior, plataforma, armadura y cables
- Condición de la estructura inferior, vigas, estribos y cimientos
- Accesos, barandillas y materiales de piso
- Condición del canal bajo el puente y arrastre en el canal y socavación

Tabla 12. Impacto ambiental en la etapa de conservación y operación

Fuente: IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999. Reinterpretación Propia del Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Tránsito vehicular	Contaminación del aire	Establecer un programa de reforestación a fin de compensar la contaminación por emisiones de humo.
	Contaminación de ruido	Colocar barreras vegetales (vía reforestación) En casos específicos deberá analizarse la necesidad de construir barreras con materiales absorbentes de ruido, pudiendo utilizarse el excedente de la excavación para formar barreras en zonas urbanas.
		Reducir límites de velocidad de operación en zonas urbanas. Desviar el tránsito pesado en horario nocturno en zonas urbanas.
	Contaminación del suelo y agua	Establecer un programa permanente de recolección de desechos sólidos dentro del derecho de vía, así como las instalaciones de depósitos de basura a lo largo de la carretera Realizar campañas de vigilancia para evitar la formación de basureros en el derecho de vía
	Riesgo de accidentes	Establecer un programa de seguridad que incluya procedimientos para casos de emergencia, señalización e iluminación en lugares conflictivos, sistemas de comunicación, etc.
	Crecimiento urbano irregular por la orilla del camino	Incluir a los organismos de planificación del uso de suelo en todos los niveles, en el diseño y evaluación ambiental de proyectos, y planear un desarrollo controlado
Mantenimiento Conservación	Contaminación del agua superficial y subterránea y desequilibrio ecológico.	Establecer un programa de limpieza y desazolve de cunetas Retirar escombros. Control del manejo de combustibles y lubricantes y derivados de asfalto por personal técnico especializado para evitar fugas. Construir obras de drenaje necesarias para mantener el patrón hidrológico superficial. Inspeccionar las condiciones de cables, vigas, cimientos, etc. de puentes al menos cada dos años Limpiar arbustos en el canal, inspeccionar pintura, y tapar grietas
	Contaminación del aire.	Reforestar los claros y partes altas con flora nativa de la región. Cubrir con lona los materiales transportados en fase húmeda.
	Riesgo de accidentes	Contar con los dispositivos de señalamiento adecuados y hasta donde sea posible hacerlo en las horas de menor tránsito vehicular, limitando la longitud al mínimo operativo
	Contaminación y erosión del suelo.	Evitar el uso de herbicidas e insecticidas para la limpieza del derecho de vía. Construir bermas, suavizar cortes a manera de restringir la superficie de afectación. Recuperar el total de los materiales producto del desmonte y despalme de los bancos de préstamo laterales para trabajos de arropo de taludes y disponer sobre la superficie afectada. Inducir a los procesos de sucesión natural en sitio.

3. Pavimentos Peatonales²⁰

Las vías peatonales en la mayoría de las poblaciones, constituyen una parte descuidada de las infraestructuras que no han sido objeto de la atención debida, con diseños a veces no acordes al servicio que han de ofrecer a los usuarios por una parte y, por otra, con mantenimientos insuficientes.

La sociedad, tolera cada vez menos vías peatonales estrechas, agrietadas, deslizantes e irregulares, manifestándose esto en el creciente número de accidentes en que los peatones se ven afectados por el mal estado de estas vías.

Por lo expuesto anteriormente, las vías peatonales y pasos de peatones deberán ser funcionales para ofrecer un buen servicio a los usuarios, teniendo como objetivos los siguientes:

- a) Los niveles de proyecto y mantenimiento han de permitir su uso sin inconvenientes a todo tipo de usuarios. La necesidad de mejorar, sobre todo, las condiciones de movilidad a los minusválidos, nos incumbe a todos para conseguir una ciudad más habitable, sin barreras, no sólo para personas con disminuciones físicas, sino también para ancianos y para otros ciudadanos que por una particular situación tienen dificultades añadidas de movilidad, y es por lo que para que la integración sea efectiva y las personas con minusvalía puedan acceder a un desenvolvimiento normal de sus actividades motrices en el núcleo en que habiten, es necesario remover los obstáculos y evitar las barreras urbanísticas.
- b) Proporcionar un paso por el que puedan caminar con seguridad los peatones, libre de obstáculos, depresiones, riesgo de tropiezos, charcos, superficies sueltas etc.
- c) La superficie de los pavimentos será plana y antideslizante tanto en tiempo seco como húmedo.
- d) Las pendientes deberán ser uniformes evitando cambios repentinos.
- e) Deberán estar libres de discontinuidades en las que puedan quedar atrapados tacones, pequeñas ruedas y bastones.
- f) Superficies bien iluminadas.
- g) Compatibles con el medio circundante próximo a fin de realzar el entorno.

3.1 Análisis de vías peatonales, pasos de peatones y esquinas de aceras.

Los principios para el análisis de la circulación peatonal son análogos a los establecidos para los vehículos.

Las relaciones fundamentales entre velocidad, intensidad y densidad también son semejantes. A medida que la intensidad y la densidad de una corriente de circulación

²⁰ Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003. España

peatonal aumentan desde régimen libre a otras condiciones más desfavorables, disminuyen la velocidad y la facilidad de movimientos.

Cuando la densidad peatonal excede un nivel crítico, entonces la velocidad y la intensidad toman valores erráticos y rápidamente disminuyen.

Los datos de partida necesarios para llevar a cabo un análisis son:

a) Tipos de usuarios

El peatón es un factor muy importante en cualquier problema de circulación urbana, especialmente desde el punto de vista de su seguridad, siendo sus actitudes más diversas que las de los conductores, obedeciendo con menos rigor las normas específicas y a la señalización, por lo que hace más difícil ordenar sus movimientos y mejorar su seguridad.

El análisis de la intensidad peatonal se basa generalmente en las velocidades media de marcha de los grupos de peatones. Dentro de cualquier grupo, o entre distintos grupos, puede haber grandes diferencias en las características de la velocidad, sobre todo para personas con disminuciones físicas. Los ancianos y los niños tienden a caminar a un paso más lento que otros grupos y es por lo que el proyectista debe hacer las correcciones oportunas para tener en cuenta este tipo de usuarios.

b) Anchura útil de una acera o vía peatonal

El concepto de un carril para peatones ha sido empleado algunas veces para analizar la intensidad peatonal, de forma análoga al análisis de un carril de carretera. El "carril" no se debe utilizar en análisis peatonales debido a que estudios fotográficos han demostrado que los viandantes no caminan por carriles preestablecidos.

Conceptualmente el "carril" solo es válido para determinar con qué fondo pueden caminar los peatones para una anchura dada de vía (de dos en fondo, o tres) y cuál es la anchura mínima de vía que permite a dos peatones pasar uno junto al otro sin incomodarse. Para evitar interferencias mientras se pasan uno al otro, dos peatones necesitan tener 0,75 m de vía cada uno.

Por otra parte, hay que tener presente que los peatones durante su trayecto, prudentemente, se alejan de los obstáculos, no aproximándose en exceso a las fachadas de los edificios, reduciendo así la anchura de la acera.

Se denomina "Línea límite de obstáculos", la paralela a la alineación del bordillo de delimitación acera-calzada, de tal modo, que queden englobados entre ambas todos los obstáculos fijos como pueden ser, farolas, árboles, etc.

La "anchura útil" en una acera, es la que se puede utilizar de forma efectiva por los peatones en sus movimientos o también, la distancia de la "línea límite de obstáculos" a la

fachada de los edificios. Por lo tanto, cuando se determinen los niveles de servicio peatonales, habrá que sustraer aquella parte del espacio existente que no es utilizado empleando los siguientes factores de ajuste de la anchura de las aceras por los obstáculos fijos más habituales.

Tabla 13. Factores de ajuste de la anchura de las vías peatonales por obstáculos fijos

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003

OBSTÁCULO	ANCHURA APROXIMADA NO ÚTIL EN M
Elementos de urbanización y mobiliario urbano	
Postes de alumbrado público	1.50
postes y armarios de control de los semáforos	1.50
Señales de tráfico	1.00
Parquímetros	1.00
Buzones postales (0,5 por 0,5m)	1.25
Cabinas de teléfonos (0,8 por 0,8m)	1.75
Botes de basura	1.00
Bancos	1.75
Paisaje	
Árboles	1.5
Jardineras	variable
Usos comerciales	
Puestos ambulantes	variable
Mostradores	variable
Elementos de publicidad	variable
Escaparates y aparadores	variable
Elementos que sobresalen de los edificios	
Columnas	.9
Porches	1.8

1. - Para tener en cuenta la distancia de seguridad que guardan los peatones con los obstáculos debe añadirse entre 0,30 y 0,45 m. a la anchura no útil asignada a un obstáculo individual.

2. - Desde el bordillo al borde del objeto, o desde la línea de fachada al borde del objeto.

3.2 Metodología. Procedimientos de aplicación y ejemplos de cálculo²¹

Niveles de servicio en vías peatonales

Los criterios seguidos para establecer los distintos niveles de servicio en la circulación peatonal están basados en medidas subjetivas, y, por lo tanto, pueden resultar algo imprecisas. No obstante cabe definir intervalos de superficie por peatón, intensidades y velocidades que pueden utilizarse para evaluar la calidad de circulación.

Tabla 14. Niveles de servicio peatonal en vías peatonales

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003. España

Nivel de Servicio	Superficie (m ² /pt)	Intensidades y velocidades esperadas		
		Velocidad media V(m/min)	Intensidad I (pt/min/m ²)	Relación Vol/Cap/ I/c
A	≥11.70	≥78	≤7	≤0.08
B	≥3.60	≥75	≤23	≤0.28
C	≥2.16	≥72	≤33	≤0.40
D	≥1.35	≥68	≤49	≤0.60
E	≥0.54	≥45	≤82	≤1.00
F	≥0.54	≥45	Variable	

3.2.1 Criterios para los niveles de servicio en vías peatonales²²

Las tablas 11 y 12 muestran los criterios de nivel de servicio peatonales. La magnitud de efectividad primaria para definir el nivel de servicio peatonal es la superficie, el inverso de la densidad. La velocidad media y la intensidad se presentan como criterios complementarios.

²¹ Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003. España

²² Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003. España

1. NIVEL DE SERVICIO A

Superficie peatonal: $\geq 11,70$ m²/pt Intensidad: ≤ 7 pt/min/m

En las vías peatonales con NS A los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones. Se elige libremente la velocidad de marcha, y los conflictos entre los viandantes son poco frecuentes.

2. NIVEL DE SERVICIO B

Superficie peatonal: $\geq 3,6$ m²/pt Intensidad: ≤ 23 pt/min/m

En el NS B se proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre sí. En este nivel los peatones comienzan a acusar la presencia del resto, hecho que manifiestan en la selección de sus trayectorias.

3. NIVEL DE SERVICIO C

Superficie peatonal: $\geq 2,16$ m²/pt Intensidad: ≤ 33 pt/min/m

En el NS C existe la superficie suficiente para seleccionar una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, principalmente en corrientes de un único sentido de circulación. En el caso de que también haya movimiento en el sentido contrario o incluso entrecruzado, se producirían ligeros conflictos esporádicos y las velocidades y el volumen serán un poco menores.

4. NIVEL DE SERVICIO D

Superficie peatonal: $\geq 1,35$ m²/pt Intensidad: ≤ 49 pt/min/m

En el NS D se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento. En el caso de que haya movimientos de entrecruzado o en sentido contrario existe una alta probabilidad de que se presenten conflictos, siendo precisos frecuentes cambios de velocidad y de posición para eludirlos. Este NS proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, es probable que se produzca entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.

5. NIVEL DE SERVICIO E

Superficie peatonal: $\geq 0,54$ m²/pt Intensidad: ≤ 82 pt/min/m

En el NS E prácticamente todos los peatones verán restringida su velocidad normal de marcha, lo que les exigirá con frecuencia modificar y ajustar su paso. En la zona inferior de este NS, el movimiento hacia adelante sólo es posible mediante una forma de avance denominada "arrastre de pies". No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzado sólo son posibles con extrema dificultad.

La intensidad de proyecto se aproxima al límite de la capacidad de la vía peatonal, lo que origina detenciones e interrupciones en el flujo.

6. NIVEL DE SERVICIO F

Superficie peatonal: $\geq 0,54\text{m}^2/\text{pt}$ Intensidad: variable

En el NS F todas las velocidades de marcha se ven frecuentemente restringidas y el avance hacia delante sólo se puede realizar mediante el paso de “arrastre de pies”. Entre los peatones se producen frecuentes e inevitables contactos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzado son virtualmente imposibles de efectuar. El flujo es esporádico e inestable. La superficie peatonal es más propia de formaciones en cola que de corrientes de circulación de peatones.

Estos criterios están basados en la hipótesis de que los peatones se distribuyen uniformemente sobre la anchura útil de la vía peatonal. La circulación peatonal está sujeta a una gran variabilidad aun en periodos de tiempo muy cortos y el analista debe considerar el efecto de las multitudes u otras distribuciones de tráfico, modificando las hipótesis subyacentes para el cálculo de las intensidades medias de los niveles de servicio y en consecuencia, realice los ajustes oportunos cuando ello sea necesario.

En las secciones de la vía que presenten acusados efectos de apelonamiento, se debe determinar la magnitud y duración de estas oscilaciones de la demanda. Esto se lleva a cabo aforando estas oleadas, de periodo corto, de la demanda. El valor y la frecuencia de aparición de pelotones se deben comparar con la intensidad para el periodo de 15 min., al objeto de proporcionar una visión más exacta de las condiciones de los niveles de servicio en estos tramos de la vía.

La expresión matemática de la recta que relaciona las intensidades máximas de los pelotones con las intensidades medias es la siguiente:

$I_p = I + 13,12$ en donde:

I_p = Intensidad de multitud. (Peatones/minuto/metro)

I = Intensidad media (Peatones/minuto/metro)

Esta ecuación es válida para intensidades mayores de 1,64 pt/min/m.

La metodología es bastante clara en su aplicación, y es útil para determinar las ubicaciones más problemáticas que precisan un estudio de campo más detallado y las posibles medidas correctoras. Entre éstas pueden citarse la ampliación de aceras, la prohibición a los vehículos de realizar ciertos giros y/o la variación del reparto del ciclo semafórico.

3.2.2 Movimiento peatonal en esquinas de aceras.

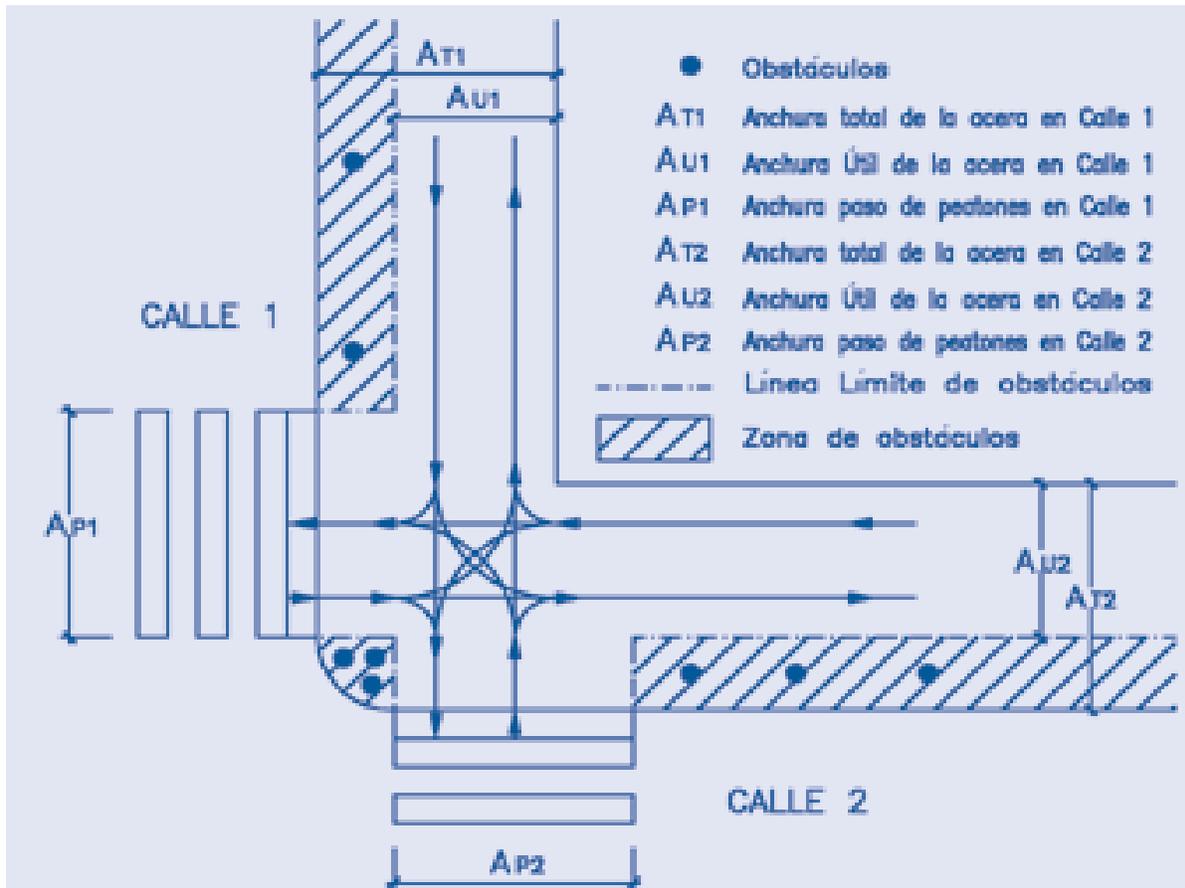
La concentración de movimientos de peatones en esquinas y pasos, los convierte en tramos de tráfico críticos tanto para la red vial urbana como para la peatonal.

El problema de la esquina de acera es más complejo que en el caso de un tramo de acera entre esquinas, estando influido por los flujos de cada acera confluyente y por las muchas

combinaciones de movimientos posibles como se puede observar en la figura. Cada uno de los movimientos que llegan a la esquina pueden bien seguir recto, bien girar a la izquierda, o bien girar a la derecha.

Figura 5. Movimiento peatonal en esquinas de aceras

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003. España

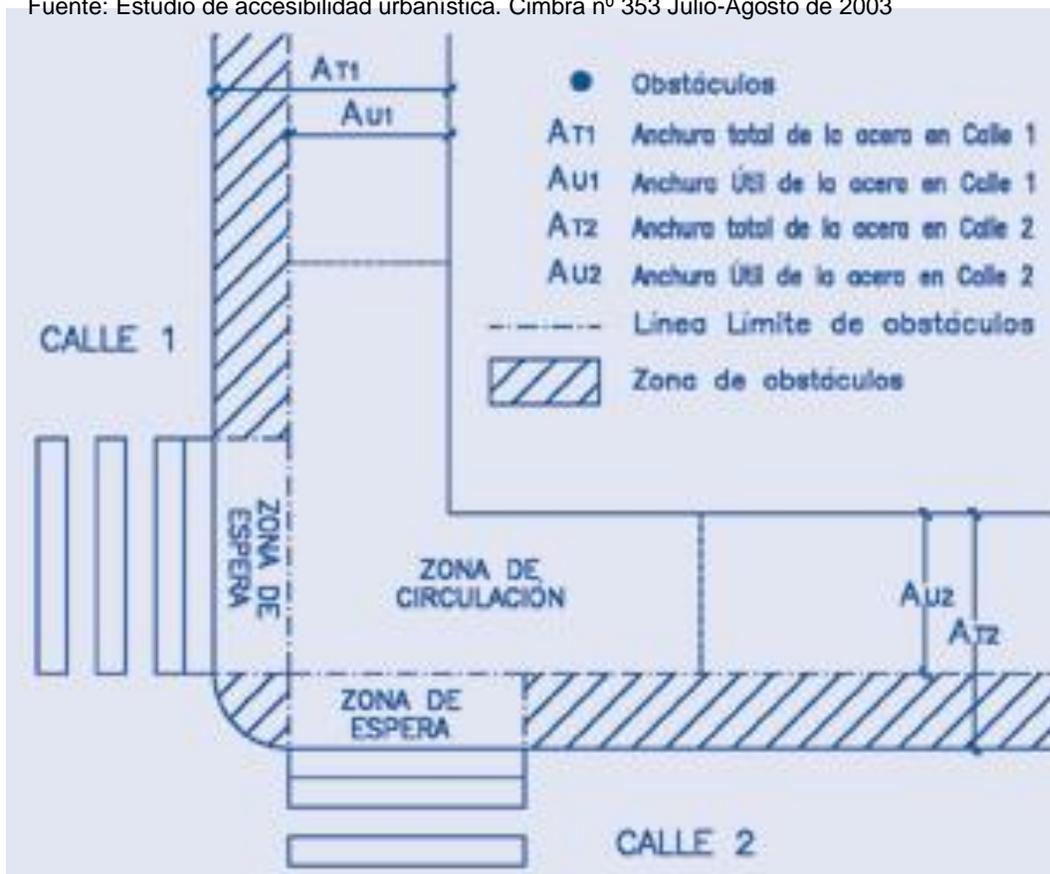


3.2.3 Zona de influencia peatonal en esquina de aceras

Las esquinas funcionan como una zona “tiempo-espacio” con unos peatones esperando, que precisan poco espacio pero ocupan la esquina durante periodos de tiempo más largos, y otros que por estar circulando necesitan más espacio pero que sólo ocupan la esquina unos segundos. El tiempo-espacio total disponible para estas actividades es simplemente la superficie de la “zona de influencia peatonal” de la esquina en metros cuadrados multiplicada por el tiempo del periodo de análisis. El problema analítico es la asignación de este tiempo-espacio de tal forma que proporcione a la esquina un nivel de servicio razonable tanto para los peatones que esperan como para los que circulan. Dentro de la “zona de influencia peatonal” debemos considerar dos tipos distintos de superficie como se puede observar en la figura.

Figura 6. influencia peatonal en esquina de aceras

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003



- A) “Zona de circulación”, disponible para el movimiento de los peatones que la atraviesan, y necesaria para acomodar:
- a) A los peatones que cruzan durante la fase verde.
 - b) Aquellos que circulan para sumarse a la cola de la fase roja.
 - c) Aquellos otros que circulan entre las aceras adyacentes pero que no cruzan la calle.
- B) “Zona de espera”, necesaria para acomodar a los que esperan durante la fase roja.

3.2.4 Niveles de servicio en esquina de aceras

La utilización del espacio medio disponible por los peatones como una medida del nivel de servicio, también se puede aplicar en zonas de espera o formación de colas. En estas zonas, el peatón está parado temporalmente, mientras espera que le presten un cierto servicio. El nivel de servicio de las zonas de espera depende de la superficie media disponible por cada peatón y del grado de movilidad permitido. En aglomeraciones densas

en pie, apenas hay sitio para moverse, pero a medida que aumenta la superficie media por persona es posible una cierta movilidad.²³

3.3 Características constructivas²⁴

Los pavimentos peatonales, son pisos realizados artificialmente destinados al tránsito de personas y ocasionalmente de vehículos de mantenimiento y limpieza. Tecnológicamente, es la capa superficial o exterior de una solera y es en todo caso uno de los componentes del firme.

El firme es el conjunto de capas que soporta las cargas exteriores, formado por terreno o explanada, subbase, base y pavimento. Cada capa del firme tiene una función específica, y en atención a ello, se utilizan unos materiales apropiados y se dimensiona en la forma oportuna.

Existe una jerarquía clara entre las capas, a más profundidad menor calidad y coste y mayor deformabilidad que la capa superior. No es necesario que existan todas las capas en todas las situaciones, de hecho, en muchos pavimentos peatonales no están presentes. La supresión de alguna capa se hará en función de la calidad del firme que necesitamos, lo que a su vez está directamente relacionado con la capacidad portante del mismo.

Los firmes multicapa, ofrecen ventajas sobre los monocapa.

Desde el punto de vista estructural, el multicapa ofrece un mejor reparto de distribución de cargas. Desde el punto de vista económico, es más adecuado el multicapa, ya que al ser las capas inferiores de peor calidad, ofrecen un menor coste.

La pavimentación es la base de la urbanización de los proyectos de jardinería y el elemento que posibilita la accesibilidad. En atención a ello, se debe estudiar con el máximo rigor. El papel que desempeña cada una de las capas del firme es el siguiente:

- a) Explanada: Es la parte exterior del terreno natural debidamente acondicionada. Actúa como cimiento del firme y como tal, debe tener una capacidad de recibir las cargas o tensiones a las que se someta. Debe ser indeformable, es decir no debe sufrir aumento o disminución de volumen (estabilidad). Un suelo será tanto más estable cuanto menos deformable o poroso sea. A mayor contenido en poros o huecos, menor densidad. Para estabilizar un suelo hay que llevarle a la máxima densidad, lo que se consigue a través de la compactación. Con la estabilidad del suelo conseguimos una mayor duración del firme.

²³ Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 354 Septiembre-October de 2003. España

²⁴ *Ibidem*

También hay otros factores que influyen en la estabilidad.

Para determinar las características de la explanada y si esta es adecuada para sustentar el firme, se pueden utilizar distintos ensayos granulométricos o de resistencia a la penetración, que complementen las primeras apreciaciones visuales. En una primera aproximación, se consideran adecuados o inapropiados, los suelos que reúnan los siguientes requisitos:

Suelos adecuados: Asentamientos directos sobre rocas, siempre que sean compactas y no disgregables. Terrenos con abundancia de zahorras naturales propios de zonas aluviales. Material procedente de granito disgregado.

Suelos inadecuados: Los suelos agrícolas en general, particularmente si tienen gran cantidad de materia orgánica. Los suelos orgánicos, como las turberas son muy alterables. Los suelos arcillosos son muy inadecuados, ya que se mantienen compactos en húmedo, pero se agrietan en seco. Los suelos pantanosos o con la capa freática muy alta. Tampoco son apropiadas las rocas disgregables o alterables como los yesos, margas, granitos de grano grueso, calizas blandas, pizarras y esquistos. Cuando el suelo natural no cumple las características adecuadas, debe modificarse o estabilizarse, es decir, proceder a la mejora física o química del suelo.

El ensayo más frecuente para señalar la capacidad resistente o portante de un suelo, tanto de explanadas como de bases o subbases, es el CBR (California Bearing Ratio). Es un ensayo de penetración con pistón, se pueden establecer tres tipos de explanadas (Tabla 13). A mayor índice CBR, más calidad del suelo y, por tanto, menos necesidad de capas superiores o formación de capas superiores de menor espesor.

Tabla 15. Tipos de explanada según índice CBR

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003

Denominación de la explanada	Índice CBR
No apto para formar explanada	< 5
E1	5-10
E2	10-20
E3	+20

b) Subbase: Es la capa del firme que se apoya en la explanada.

Asegura el reparto de las cargas de la base, capa que se sitúa por encima. Sirve de protección de la explanada en el proceso constructivo e incluso después. Es como una prolongación de la propia explanada. Si ésta es poco permeable, puede tener función drenante. Si la explanada es de calidad, podemos suprimir la subbase. Los materiales más utilizados para su conformación son las gravas y otros áridos y materiales que no

tengan arcillas y margas, tanto naturales como de machaqueo, así como material procedente de la explanada debidamente estabilizado.

Esta capa se debe compactar hasta una densidad superior al 95% del Proctor modificado.

c) **Base:** Es la capa del firme situada inmediatamente por debajo del pavimento. Es por tanto el soporte del pavimento y debe complementar su función resistente. Transmite las cargas, desde el pavimento a la explanada, repartiéndolas y amortiguándolas. Los principales materiales utilizados para formar bases son los hormigones de diversas riquesas, las mezclas grava-cemento y los granulares.

d) **Pavimento:** Es la parte superior del firme y la que sufre las cargas y acciones exteriores. Por su posición exterior, además de su carácter estructural, debe ser apropiado al uso, estéticamente adecuado, e integrado en el entorno, con un drenaje superficial lo más rápido posible, adherencia adecuada, etc. Debe ser el elemento más durable y resistente, ya que está directamente expuesto a la acción de las cargas y fenómenos externos. Ejerce un papel protector sobre las capas inferiores.

Podemos clasificar los pavimentos como continuos, es decir, formados por una única pieza (cementos, bituminosos, granulares), o discontinuos, si están formados por piezas. Los pavimentos discontinuos pueden clasificarse como rígidos, si están cogidos por mortero o están apoyados en bases rígidas o flexibles, o articulados si no tienen aglomerante. Los pavimentos rígidos se emplean con cargas mayores que los flexibles. Además necesitan juntas de dilatación y retracción, lo que no ocurre con los flexibles. Los flexibles resultan más económicos y además permiten reformas más fácilmente. No se deben utilizar en pendientes altas o en lugares de gran proyección de agua ya que pueden descalzarse con cierta facilidad. Los pavimentos continuos ofrecerán su estética utilizando el color y la textura. En los pavimentos discontinuos se puede utilizar el color, la forma de las piezas y el aparejo, además de la textura de las piezas y las juntas.

3.4 Materiales²⁵

Los materiales más empleados para la formación de pavimentos accesibles son:

a) **Granulares (áridos):** Se emplean tanto en la formación de bases y subbases, como en las mezclas para realizar morteros, concretos y bituminosos. No son recomendables para la formación de pavimentos. No obstante si se emplean deben compactarse al menos a un nivel del 90%. También se les puede dar un tratamiento de estabilización.

²⁵ Bricolajardinería y Paisajismo. No 142, Junio de 2006. España

- b) **Piedra natural:** Piezas debidamente trabajadas y de gran variedad. Para su uso en pavimentos se puede utilizar el adoquín de piedra y la losa, baldosa o planchón de piedra debidamente fijada. Las piezas pueden tener cantos irregulares o rectos.

Es un material natural que aporta consistencia y durabilidad. Si son irregulares no deben superar los 15 mm de desnivel una vez fijados al suelo. Se integra muy bien en los ambientes si se utiliza material de la zona, acorde con las construcciones del entorno.

- c) **Materiales cerámicos:** El material más utilizado es el adoquín cerámico. También se puede usar baldosa cerámica y ladrillo macizo. Ofrecen muchas posibilidades al estar disponibles en diferentes colores y acabados. También permiten crear ambiente utilizando adecuadamente el aparejo mono o multicolor. Tienen muy buena durabilidad, integrándose muy bien en jardinería urbana.
- d) **Materiales elaborados con cemento:** El concreto realizado in situ puede utilizarse sin ningún acabado, aunque es muy poco atractivo. En pavimentos urbanos es mejor utilizar el concreto impreso que mejora sensiblemente los efectos visuales y la durabilidad del concreto ordinario. Además, posibilita acabados con imitaciones de cualquier material y en cualquier color. Entre los materiales prefabricados en piezas se utilizan ampliamente las losetas, losas, baldosas y adoquín de concreto. Igualmente permiten gran variedad de usos con múltiples combinaciones de aparejos, texturas y colores. Su durabilidad es muy buena. Las baldosas de concreto, se utilizan para la formación de pavimentos táctiles, imprescindibles en itinerarios accesibles.
- e) **Materiales bituminosos:** Aunque es un material poco atractivo tiene la ventaja de ser el más económico, aunque también el menos durable (a excepción del granular). Puede admitir la coloración con aplicación de una lechada de cemento apropiada mejorando así su aspecto externo, aportando las tonalidades cromáticas más convenientes.

3.5 Dimensionamiento y secciones ²⁶

Un problema importante que debe afrontar el proyectista en la formación del paisaje, es dimensionar las secciones de firmes. Para dimensionar un firme y determinar el número de capas necesarias se deben considerar diversos factores. Son tres los factores fundamentales que condicionan las capas del firme y su espesor:

- Tipo de pavimento a emplear.
- Tipo de explanada, definido por las tipologías de calidad (E1; E2 y E3).

²⁶ Bricolajardinería y Paisajismo. No 142, Junio de 2006. España

- Funcionalidad del firme, definida por el tránsito o cargas que debe soportar. En nuestro caso, es siempre peatonal y tráfico restringido.

Los espesores del firme se pueden determinar por muchos sistemas, que adoptan distintas bases para el cálculo. Se puede distinguir entre métodos teóricos (análisis de tensiones y deformaciones del firme), empíricos y mixtos.

La determinación de los firmes peatonales sometidos a cargas limitadas, se puede realizar a través de métodos empíricos, basados en la utilización de otros espesores considerados adecuados, en suelos de condiciones semejantes, tanto geotécnicas como de tráfico. Con estas consideraciones, y según el tipo de pavimento a utilizar, se pueden adoptar los espesores de firme para uso peatonal que se definen en la Figura 3, partiendo de que la explanada está acondicionada, y considerando que los espesores de las capas son en estado compactado. Se debe tener en cuenta que a más calidad de la explanada, podemos utilizar un menor espesor del firme.

Conforme a estas consideraciones se puede elegir el espesor adecuado de las capas para cada situación de proyecto.

Tabla 16. Tipos de explanada según índice CBR

Fuente: Estudio de accesibilidad urbanística. Cimbra nº 353 Julio-Agosto de 2003

Capas	Espesor (cm)	Tipo
A) Concreto 200kg/m ³ Granular	15-20 10-15	Concreto
B) Mezcla bituminosa Granular	5 10-15-20	Asfáltico o bituminoso
C) Adoquín de cemento Arena de nivelación Concreto 200kg/m ³	6-8 3-4 10-15	Adoquín cemento
D) Adoquín de cemento Arena de nivelación Granular 3-4 cm	6-8 3-4 15-20	Adoquín cemento
E) Adoquín de cerámico Arena de nivelación Concreto 200kg/m ³	5 3-5 10-15	Adoquín cerámico
F) Adoquín de cerámico Arena de nivelación Granular 3-5 cm	5 3-5 10-15	Adoquín cerámico
G) Pieza Mortero cemento Concreto 150kg/m ³ -200kg/m ³	Variable 2-3 10-15	Losa, baldosa y loseta (terrazo, concreto y piedra natural)
H) Pieza Arena húmeda Concreto 150kg/m ³ -200kg/m ³	Variable 3-4 10-15	Losa, baldosa y loseta de concreto y cerámica (piezas de gran formato y espesor)

4. Pavimentos Generadores de Energía

4.1 Referencias Históricas

4.1.1 Descubrimiento de los materiales piezoeléctricos²⁷

1880-1882

La primera demostración experimental de una conexión entre el fenómeno piezoeléctrico y estructura cristalográfica fue publicada en 1880 por Pierre y Jaques Curie. Su experimento consistía en una medida definitiva de las cargas que aparecían en una superficie preparada con cristales especiales (turmalina, cuarzo, topacio, caña de azúcar y salde Rochelle entre ellos) cuando eran sometidos a presión mecánica.

Hoy en día en los círculos científicos, este efecto ha sido considerado un descubrimiento nombrado como “piezoelectricidad”.

Los hermanos Curie afirmaron que había una correspondencia uno a uno entre los efectos eléctricos de cambios de temperatura y presión mecánica en un cristal, y que ellos habían usado esta correspondencia no solo para escoger los cristales para el experimento, sino también para determinar los cortes de esos cristales. Para ellos, su demostración fue una confirmación de las predicciones que seguían su razonamiento natural de la cristalografía microscópica y los orígenes de la piroelectricidad.

Los hermanos Curie predijeron que los cristales utilizados tendrían un efecto piezoeléctrico directo (electricidad por medio de la aplicación de presión), pero no que también podía darse de forma inversa (presión o movimiento con la aplicación de un campo eléctrico). Esta propiedad fue deducida matemáticamente por Lippman en 1881, mediante principios básicos de termodinámica. Los hermanos Curie confirmaron inmediatamente la existencia del “efecto contrario” y continuaron haciendo experimentos y mediciones.

1882 – 1917

En ésta época, y después de solo dos años de trabajo interactivo entre la comunidad científica de Europa, el núcleo de aplicaciones en la ciencia de los piezoeléctricos estaba establecida: la identificación de cristales piezoeléctricos sobre la base de la estructura cristalina asimétrica, el intercambio reversible de energía eléctrica y mecánica y la utilidad de la termodinámica en la cuantificación relaciones complejas entre variables mecánicas, térmicas y eléctricas.

En los siguientes 25 años (anteriores a 1910), se realizó más trabajo para hacer crecer este núcleo en un marco versátil y complejo que definía completamente veinte clases de cristales donde ocurría el efecto piezoeléctrico, y definía 18 posibles coeficientes piezoeléctricos macroscópicos acompañados de un tratamiento termodinámico riguroso

²⁷ <http://www.piezo.com/> Septiembre 2010

de cristales sólidos usando análisis tensoriales apropiados. En 1910 Voigt publicó "Lerbuch de la física de cristal convirtiéndose en la referencia estándar y contenía el conocimiento hasta el momento alcanzado.

A pesar de los 25 años que tomo la elaboración de las referencias de Voigt, el fenómeno piezoeléctrico era incierto incluso entre los cristalógrafos; las matemáticas requeridas para su entendimiento eran complicadas; y no habían encontrado aplicaciones visibles al público para los cristales piezoeléctricos.

El primer trabajo de una aplicación de un dispositivo piezoeléctrico tuvo lugar durante la Primera Guerra Mundial en 1917, P. Langevin y algunos colaboradores franceses comenzaron a perfeccionar un detector submarino ultrasónico. El transductor era un mosaico con cristales de cuarzo delgados entre dos placas de acero (tenía una frecuencia de resonancia de aproximadamente 50 KHz), con una cubierta adecuada para su inmersión. Al finalizar la guerra habían alcanzado su meta, emitir alta frecuencia bajo el agua y medirla en las profundidades midiendo el tiempo de retorno de retorno del eco. La importancia del logro alcanzado no paso por alto en los países industriales, sin embargo, desde ese entonces, el desarrollo de transductores, circuitos, sistemas y materiales no se ha detenido.

4.1.2 Primera generación de aplicaciones con cristales naturales.

1920.

El éxito del sensor fomentó el desarrollo de todo tipo de dispositivos piezoeléctricos.

De hecho, tras la Primera Guerra Mundial, la mayoría de las aplicaciones de piezoeléctricos con las que estamos familiarizados (micrófonos, acelerómetros, transductores ultrasónicos, fonógrafos, filtros de señal) fueron desarrolladas y llevadas a la práctica. Es importante recordar que a pesar de esto, la falta de disponibilidad de estos materiales limitaba el rendimiento de los dispositivos así como su explotación comercial.

4.1.3 Segunda aplicación de cerámicas piezoeléctricas

1940-1965

Durante la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos, Japón y la Unión Soviética, grupos de investigación aislados que trabajaban en el mejoramiento de condensadores de materiales, descubrieron que ciertos materiales cerámicos (preparados por medio de la sintetización de polvo de oxido metálico) mostraban constantes dieléctricas hasta 100 veces más que los cortes de cristales comunes. Además, una misma clase de materiales (llamados ferroeléctricos) fueron hechos para mostrar mejoras similares en propiedades piezoeléctricas. El descubrimiento de una facilidad de manufactura de cerámicas

piezoeléctricas con características de comportamiento extraordinario desencadenó un resurgimiento de intensa investigación y desarrollo de dispositivos piezoeléctricos.

Los avances en ciencia de materiales que fueron hechos pueden clasificarse en dos categorías:

1. Desarrollo de familias de cerámicas como Titanato de Bario y más tarde de Titanato Zirconato.
2. Comprensión de la correspondencia de la estructura del cristal de cristal de perovskite para actividades electromecánicas.

Todos estos avances contribuyeron a establecer un nuevo método de desarrollo de dispositivos piezoeléctricos, llamado, “adaptación de un material para una aplicación específica”. Históricamente, esto siempre había sido a la inversa.

El desarrollo del material que se dio al término de la Guerra, estuvo dominado por grupos industriales estadounidenses, les permitió registrar patentes importantes. Algunas de las aplicaciones incluían:

- Poderosos radares
- Agujas de cerámica para tocadiscos
- Sistemas de encendido piezoeléctricos
- Micrófonos y pequeños y sensibles
- Transductores de audio cerámicos
- Relevadores

Durante el resurgimiento de dispositivos piezoeléctricos; en estados Unidos especialmente, y como política de las empresas, estas no daban a conocer información. Por tres razones principales: la mejora de estos materiales desarrollada durante la guerra y la información que se manejaba era confidencial, segundo, tras la guerra, los empresarios vieron la oportunidad de obtener grandes beneficios garantizados por patentes y procesos secretos; y tercero, la extraordinaria dificultad para el desarrollo de materiales piezoeléctricos. Aun cuando su proceso era ya conocido.

Desde la perspectiva del mundo de los negocios, el desarrollo del mercado de los piezoeléctricos quedo rezagado por un margen considerable, detrás de los desarrollos técnicos. A pesar de que todos los materiales de uso común y que conocemos hoy en día fueron desarrollados alrededor de 1970, había muy pocas aplicaciones comerciales. Viendo este hecho en retrospectiva, es obvio que un nuevo material y el desarrollo de dispositivos desarrollados en un ambiente de confidencialidad, no logro el surgimiento de un nuevo mercado y el desarrollo de esta industria estaba severamente obstaculizado.

4.1.4 Descubrimientos japoneses²⁸

1965-1980

En contraste de las políticas de confidencialidad practicadas en Estados Unidos de América, de los primeros fabricantes de piezocerámicas, algunas compañías japonesas formaron una asociación cooperativa, estableciendo el Comité de Investigación de Titanato de Bario en 1951. Esta asociación estableció un precedente de organización para superar con éxito no sólo desafíos técnicos y las barreras de fabricación, sino también para definir nuevas áreas de mercado.

A partir de 1965 las empresas comerciales japonesas empezaron a cosechar los beneficios de las constantes aplicaciones y trabajo de desarrollo de materiales. Desde la perspectiva internacional de negocios, ellos habían tomado el mando en el desarrollo de nuevo conocimiento, nuevas aplicaciones, nuevos procesos y nuevas áreas de mercado de una forma coherente y rentable.

Sus constantes labor en la investigación de materiales crearon nuevas familias de piezocerámicos capaces de competir con el PZT de Vernitron, pero libres de restricciones de patentes. Con estos materiales disponibles, los fabricantes Japoneses rápidamente desarrollaron filtros de señal, orientados a satisfacer necesidades de mercado en televisión, radio, y equipos de comunicación, sistemas de ignición piezocerámicos para aparatos de gas natural/butano.

Conforme pasaba el tiempo, el mercado de estos productos continuaba creciendo, y otros similares continuaron siendo encontrados. Los más notables fueron emisores y receptores de sonido (alarmas detectoras de humo, TTL “lógica transistor a transistor” generadores de tono compatible) transductores ultrasónicos por aire (controles remoto de televisión y alarmas de intrusión) y filtros SAW (superficie de onda acústica) empleados como filtros para alcanzar frecuencias de señal altas.

En comparación con la actividad comercial de Japón, en el resto de mundo era lenta, incluso iba en declive. De cualquier manera, globalmente, había muchas investigaciones pioneras, el trabajo continuaba, así como la invención de patentes.

4.1.5 Búsqueda de mercados de mayor volumen

1980-Presente

El éxito de los esfuerzos por parte de los Japoneses, atrajo la atención de las industrias en muchos otros países, impulsado un nuevo esfuerzo para desarrollar con éxito productos con materiales piezoeléctricos. Como muestra de esto, tenemos la gran cantidad de patentes que se realizan cada año en Estados Unidos de Norteamérica. Otra muestra de esta gran actividad, es la gran cantidad de publicaciones acerca de materiales

²⁸ <http://www.piezo.com/> Septiembre 2010

piezoeléctricos y sus áreas de aplicación, los cuales se han incrementado en países como Rusia, China e India.

Actualmente el efecto piezoeléctrico es a menudo encontrado en la vida diaria. Por ejemplo, en encendedores de gas para cigarrillos o encendedores para parrillas en estufas de gas; una palanca aplica presión a un cristal piezoeléctrico creando un campo eléctrico lo bastante fuerte para producir una chispa que encienda el gas.

En el campo de la ingeniería el uso más común del fenómeno piezoeléctrico, actualmente, es en los actuadores piezoeléctricos. Un actuador piezoeléctrico es un dispositivo que produce movimiento (desplazamiento) aprovechando el fenómeno físico de la piezoelectricidad. Los actuadores que utilizan este efecto están disponibles desde hace aproximadamente 20 años y han cambiado el mundo del posicionamiento de precisión. El movimiento preciso que resulta cuando un campo eléctrico es aplicado al material, es de gran valor para nanoposicionamiento.

Las metas técnicas en cada frontera, son principalmente, obtener actuadores funcionales y de buen precio, con un consumo de energía menor, de alta confiabilidad y que no sean dañinos para el medio ambiente. La búsqueda para perfeccionar los productos piezoeléctricos, está en progreso. A juzgar por el incremento en la actividad mundial sobre el tema, y debido al éxito encontrado en el último cuarto del siglo XX, hoy en día parecen certeros importantes beneficios económicos y técnicos.

4.2 Materiales Piezoeléctricos²⁹

La palabra “piezo” se deriva de la palabra Griega: πιεζω que significa estrechar, apretar u oprimir. Al aplicar presión a un material piezoeléctrico, como el cristal de cuarzo, se establecen cargas eléctricas en éste; a este fenómeno se le denomina “efecto piezoeléctrico”. Los materiales piezoeléctricos pueden ser utilizados para convertir energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.

Cuando un elemento piezoeléctrico sometido a un voltaje, su forma cambia. Cuando éste es sometido mediante fuerza mecánica, genera una carga eléctrica. Si los electrodos no hacen corto circuito aparece un voltaje asociado a la carga.

Por lo tanto un material piezoeléctrico es capaz de actuar tanto como un elemento sensor o transmisor, o ambos. Desde que las cerámicas piezoeléctricas son capaces de producir voltajes altos, son compatibles con la generación de dispositivos actuales compactos, confiables y eficientes.

²⁹ CADY, W. G.; Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals, Dover Press, 1964.

4.2.1 Terminología y relaciones entre las variables de un material piezoeléctrico para aplicaciones funcionales³⁰

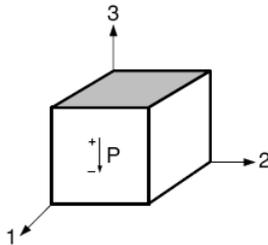
Relaciones

Las relaciones entre las fuerzas aplicadas y el resultado o respuesta dependen de: las propiedades piezoeléctricas de la cerámica; el tamaño y la forma de la pieza; y la dirección de la aplicación del voltaje o peso.

Para identificar las direcciones en los elementos piezoeléctricos, se utilizan tres ejes, estos ejes 1,2 y 3, son análogos a X,Y y Z del clásico conjunto de tres ejes ortogonales.

Figura 7. Ejes de los elementos piezoeléctricos

Fuente: <http://www.piezo.com/> Septiembre 2010



La polar de tres ejes es tomada paralela a la dirección de la polarización, dentro de la cerámica. La dirección es establecida durante su manufactura por medio de altos voltajes de corriente dieléctrica que es aplicada entre un par de fases de electrodos para activar el material.

La polarización del vector "P" es representada por una flecha señalando desde el electrodo polarizado de positivo al negativo. En operaciones de corte, estos electrodos polarizados son removidos más tarde y remplazados por electrodos depositados en un segundo par de caras. En este evento, los 3 ejes no son alterados, pero luego es paralelo a las caras de los electrodos que se encuentran en el elemento terminado.

Cuando la tensión mecánica es cortada, el subíndice 5 se utiliza en el segundo lugar.

Los coeficientes piezoeléctricos con doble subíndice vinculan cantidades eléctricas y mecánicas. El primer subíndice da la dirección del campo eléctrico asociado con el voltaje aplicado, o el voltaje producido. El segundo subíndice brinda la dirección de la presión mecánica o tensión.

³⁰ GALLEGO, J.; Piezoelectric ceramics and ultrasonic transducers, J. Phys. Sci. Instrum., 22 804-816 1989.
SUSLICK, K.S.; The Chemical Effects of Ultrasound, Scientific American 1989.

4.2.2 Constantes piezoeléctricas³¹

Las principales propiedades de los materiales piezoeléctricos desde el punto de vista de aplicación son:

a) Constante de carga piezoeléctrica d

Unidad: m/V (metros/Volt) o C/N (Coulombs/Newton) Significado: Informa cuál es la proporción entre la variación dimensional (Δl) del material piezoeléctrico (en metros) y la diferencia de potencial aplicada (en Volts), y entre la generación de cargas eléctricas (en Coulombs) y la fuerza aplicada en el material (en Newtons). Valores típicos: De 0,2 a 8 Angstroms por Volt aplicado, y de 20 a 800 pico Coulomb por Newton aplicado, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de posicionamiento piezoeléctrico e sensores de fuerza/deformación.

b) Constante de tensión piezoeléctrica g

Unidad: Vm/N (Volts x metros/Newton). Significado: Informa cuál es la proporción entre la diferencia de potencial generada (en Volts) la fuerza aplicada (en Newton) para una cerámica con longitud de 1 metro. Valores típicos: De -1 a 60 Volts para cada Newton aplicado (considerando el tamaño del eje en cuestión de 1 metro), para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Diminuyendo la dimensión de la cerámica o aumentando la fuerza, el módulo de la tensión generada también aumenta. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de detonadores de impacto y "magic clicks".

c) Coeficiente de acoplamiento

Unidad: Adimensional. Significado: Eficiencia del material en la transducción/conversión de energía eléctrica en mecánica y viceversa. Valores típicos: De 0.02 (equivalente a 2% de eficiencia) a 0.75 (equivalente a 75% de eficiencia), para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el control de calidad de las cerámicas piezoeléctricas y en el diseño de dispositivos en que no se desea la conversión de energía cruzada, o sea, que una vibración o deformación en un eje no genere cargas eléctricas o diferencia potencial en otro eje. En este caso, cuanto menor sea el respectivo factor de acoplamiento mejor.

d) Factor de calidad mecánico Q

Unidad: Adimensional. Significado: Es una medida del amortiguamiento del material. Valores típicos: De 50 a 1500, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos dinámicos de alta potencia.

e) Factor de disipación dieléctrica $\tan \delta$

Unidad: Adimensional. Significado: Es una medida dieléctricas del material. Valores típicos: De 2×10^{-3} a 25×10^{-3} para cerámicas piezoeléctricas de PZT (sobre bajo

³¹ JAFFE, B.; Piezoelectric Ceramics, Academic Press, 1971.

campo). Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos dinámicos de alta potencia y/o sometidos a altos campos eléctricos.

f) Temperatura de Curie TC

Unidad: Graus Celsius. Significado: Es la temperatura donde la estructura cristalina del material sufre una transición de fase dejando de presentar propiedades piezoeléctricas. Después de superar esta temperatura, el material pierde la polarización remanente inducida, tornándose inservible para su utilización como elemento transductor de energía eléctrica en mecánica. Valores típicos: De 150 a 350°C, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos que deberán funcionar en altas temperaturas y de alta potencia.

g) Constantes de frecuencia N

Unidad: Hz m (Hertz x metro). Significado: Es un factor importante ya que permite la estimación de la frecuencia de resonancia de los dispositivos piezoeléctricos. Valores típicos: De 800 a 3000 Hzm, para cerámicas piezoeléctricas de PZT. Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos que funcionan en resonancia.

h) Impedancia acústica Z

Unidad: MRayls (kg/m²s). Significado: Es la manera con que la energía mecánica se propaga por el medio, es una propiedad análoga a la del índice de refracción. La diferencia entre las impedancias acústicas de dos medios adyacentes es determinante de la fracción de la energía reflejada y transmitida de una onda que incide en la interfaz. Valores típicos: De 25 a 40 MRayls, para cerámicas piezoeléctricas de PZT (Z de agua = 2 MRayls y del aire aproximadamente 1×10^{-3} MRayls). Es calculado por el producto de la densidad por la velocidad (la velocidad es aproximadamente igual a dos veces la respectiva constante de frecuencia, en el caso de las cerámicas). Cuándo/Dónde es una información indispensable: En el diseño de dispositivos, este factor emitirá o captará ultrasonidos/vibraciones mecánicas.

4.2.3 Determinación de propiedades Piezoeléctricas

La caracterización de un material es el procedimiento por el que obtenemos los valores de las magnitudes físicas características de dicho material. El objeto de la caracterización es, poder predecir la respuesta que obtendremos del material en diversas circunstancias.

En el caso de los materiales piezoeléctricos el gran número de usos posibles y de condiciones para esos usos hace que la caracterización completa se difícil, por lo que se suelen realizar generalmente, caracterizaciones parciales.

4.2.4 Tipos de caracterización

Para la caracterización de materiales se debe tener conocimiento de la aplicación a la que van destinados, y desde ese punto clasificar los tipos de caracterización en función de las

aplicaciones a que vamos a destinarlos, ya que el tipo de estímulo-respuesta y su forma serán determinantes en este punto:

Tipos de respuesta:

- 1) Respuesta a un estímulo continuo
- 2) Respuesta a un pulso
- 3) Respuesta a un estímulo armónico
- 4) También es importante el tipo de medida que deseamos obtener:
- 5) Medidas eléctricas
- 6) Medidas mecánicas
- 7) Medidas en función de la temperatura.³²

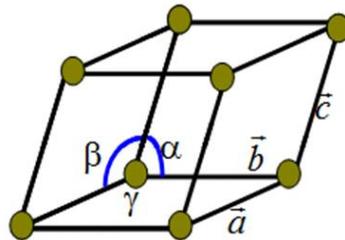
4.2.5 Estructura Cristalina³³

La característica central de la estructura cristalina es que es rectangular y repetitiva a escala atómica. Cualquier estructura cristalina puede describirse como un patrón formado por la repetición de diversas unidades estructurales. La unidad estructural más simple es la *celda unitaria*, esta contiene una descripción completa de la estructura como un todo.

Esto debido a que la estructura completa puede ser generada mediante el agrupamiento repetido de celdas unitarias adyacentes, cara a cara en el espacio tridimensional.

Figura 8. Celda Unitaria-Estructura cristalina

Fuente: <http://www.educarchile.cl>. Sep 2011



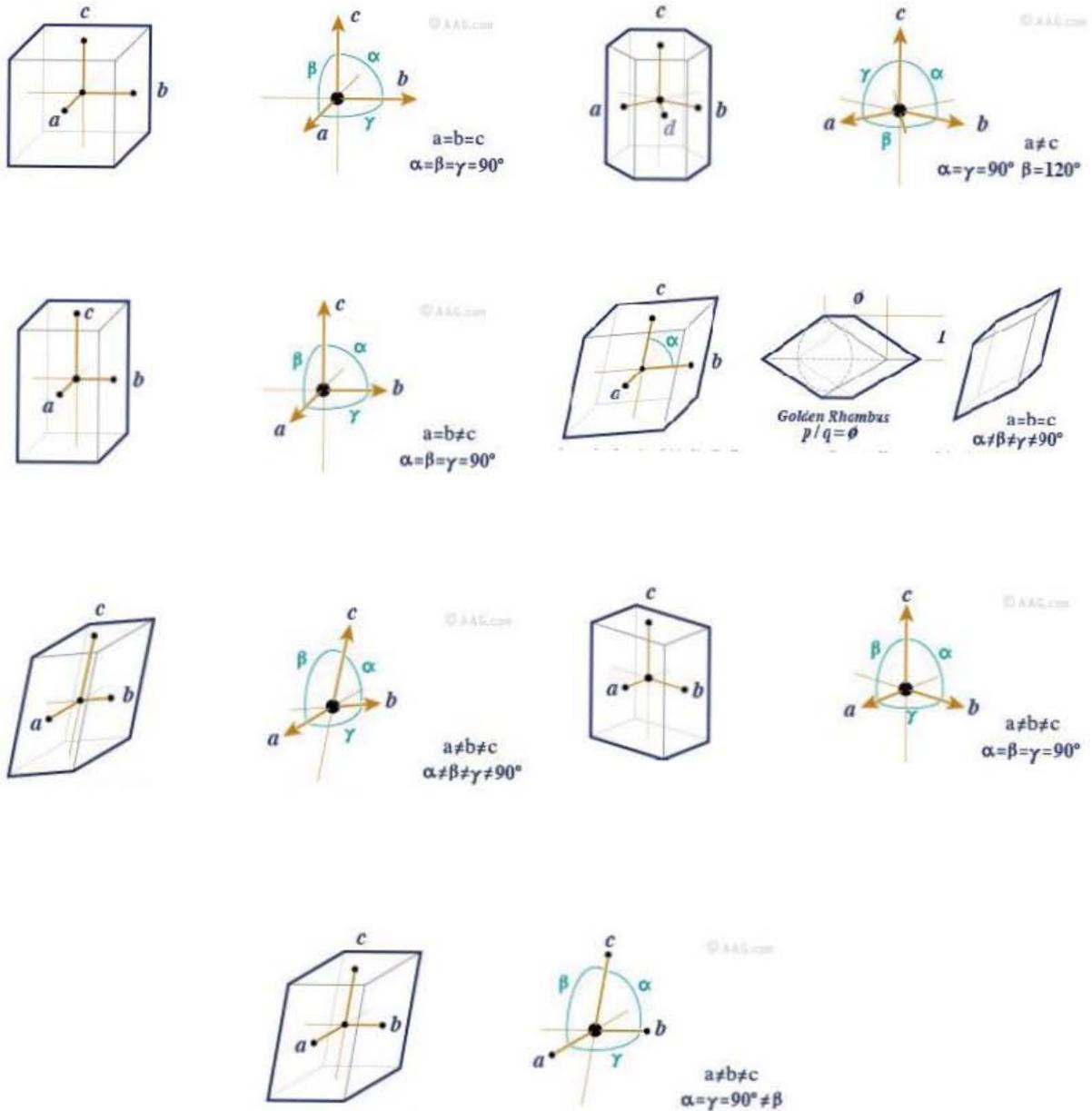
Todas las posibles estructuras se reducen a un pequeño número de geometrías de la celda unidad básica. Solamente hay siete formas de celda unitarias únicas que pueden agruparse para llenar el espacio tridimensional, conocidos como siete sistemas de cristales.

³² Piezoelectric Ceramic for Sonar Transducers (Hydrophones & Projectors) Military Standard US DOD MIL STD 1376 (1984).

³³ Ciencia de materiales para ingenieros. James F. Shackelford. University of California. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Figura 9. Siete sistemas de cristales

Fuente: http://www.allaboutgemstones.com/crystalline_structures.html. Sep. 2010

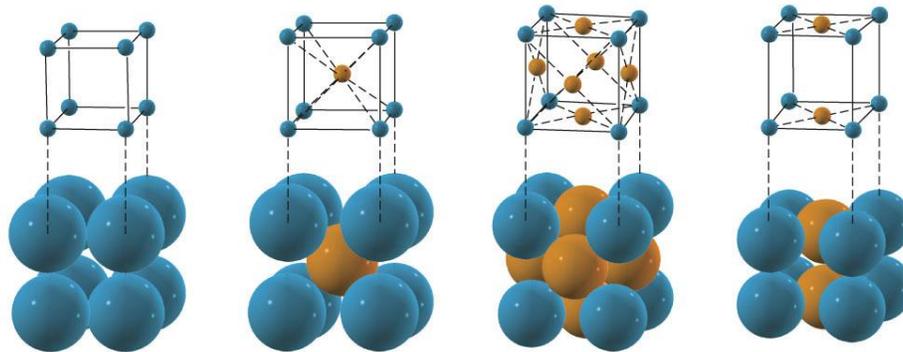


Después debe considerarse como es el agrupamiento de lo átomos en una celda unitaria dada (vistos como esferas duras).

El agrupamiento de celdas unitarias genera una red espacial de puntos, o puntos reticulares, que son esqueletos bajo los cuales se construyen las estructuras del cristal.

Figura 10. Agrupamientos de celdas unitarias

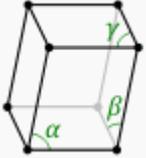
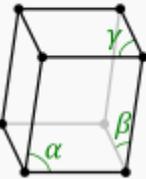
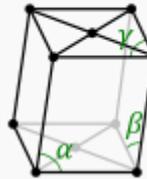
Fuente: http://www.allaboutgemstones.com/crystalline_structures.html. Sep. 2010

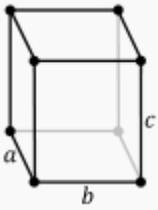
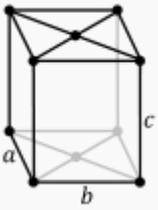
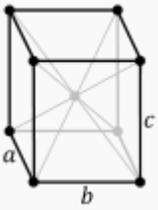
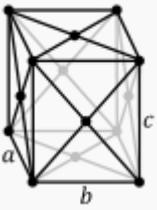
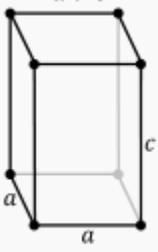
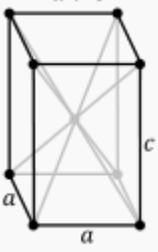
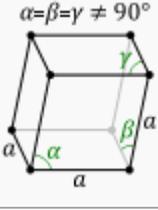
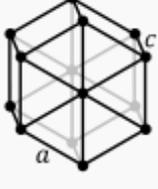
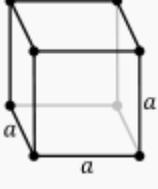
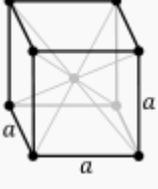
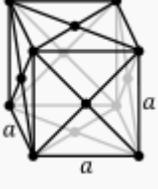


De nuevo hay número limitado de posibilidades, conocidos como los *catorce retículos de Bravais*.

Tabla 17. Catorce retículos de Bravais

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_bravais. Sep. 2010

Sistema cristalino	Redes de Bravais	
triclínico	P	
	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 	
monoclínico	P	C
	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 

	P	C	I	F
ortorrómbico	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
tetragonal	P	I		
	$a \neq c$ 	$a \neq c$ 		
romboédrico (trigonal)	P			
	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 			
hexagonal	P			
				
cúbico	P	I	F	
	a 	a 	a 	

4.2.6 Propiedades³⁴

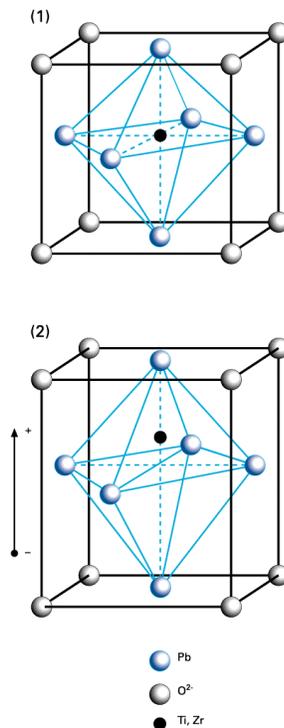
Ya que el efecto piezoeléctrico exhibido por materiales naturales tales como el cuarzo, la turmalina, la sal de Rochelle, etc., es muy pequeño, se han desarrollado materiales con propiedades mejoradas, por ejemplo los materiales cerámicos ferroeléctricos policristalinos, como el BaTiO₃ y el Zirconato Titanato de Plomo (PZT), el cual será utilizado y estudiado a fondo en este trabajo.

Los cerámicos PZT, disponibles en muchas variaciones, son los materiales más ampliamente usados hoy para aplicaciones como actuadores o sensores. La estructura cristalina del PZT es cúbica centrada en las caras (isotrópico) antes de la polarización y después de la polarización exhiben simetría tetragonal (estructura anisotrópica) por abajo de la temperatura de Curie, que es aquella en la cual la estructura cristalina cambia de forma piezoeléctrica (no-simétrica) a no-piezoeléctrica. A esta temperatura los cerámicos PZT pierden las propiedades piezoeléctricas.

La razón del comportamiento de dipolo eléctrico es la separación entre los iones de carga positivo y negativo.

Figura 11. Celda elemental piezoeléctrica; (1) Antes de polarizarse (2) Después de polarizarse.

Fuente: <http://www.ingeniohm.com/tecnologia.html>. Sep. 2010



³⁴ Ciencia de materiales para ingenieros. James F. Shackelford. University of California. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

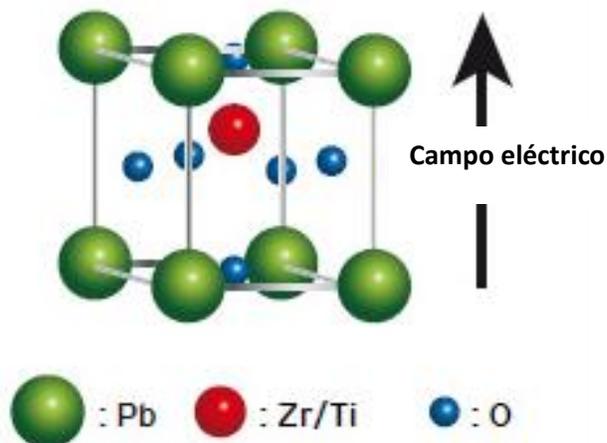
4.2.7 Estructura Perovskita³⁵

La perovskita es también el nombre de un grupo más general de cristales que toman la misma estructura. La fórmula química básica sigue el patrón ABO_3 , donde A y B son cationes de diferentes tamaños (por ejemplo, $LaMnO_3$). A es un catión grande y puede ser un alcalino, alcalinotérreo o lantánido, y B es un catión de tamaño medio con preferencia por la coordinación octaédrica, normalmente un metal de transición. La estructura perovskita se puede considerar relacionada con la del trióxido de renio, ReO_3 , donde las vacantes ordenadas -25%- del empaquetamiento compacto de oxígenos son ocupadas por el catión más voluminoso, A.

Se encuentra en varios cerámicos eléctricos. En este tipo de celdas están 3 tipos de iones, que son iones de plomo, iones de oxígeno y iones de titanio zirconio. La distorsión de la celda unitaria produce una señal eléctrica.

Figura 11. Estructura de una celda unitaria de PZT

Fuente: <http://www.ingeniohm.com/tecnologia.html>. Sep. 2010



4.2.8 Clasificación³⁶

Cuando se aplica un campo eléctrico alterno en una cerámica piezoeléctrica y se mide la polarización inducida en función del campo, se observará el fenómeno de histéresis ferroeléctrico. El área interna de esta curva corresponde a la energía disipada en forma de calor, debido a las pérdidas mecánicas y dieléctricas. La clasificación principal de los materiales piezoeléctricos es basada en gran medida al área de esta curva, siendo denominada como materiales “ Hard” aquellos que presentan una curva de histéresis

³⁵Ciencia de materiales para ingenieros. James F. Shackelford. University of California. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

³⁶ PEREIRA AHA e VENET M; Materiales y dispositivos piezoeléctricos, ATCP de Brasil, San Carlos-SP Brasil, 2004. Estructura Perovskita centrosimétrica y no centrosimétrica. Subdivisiones de los materiales piezoeléctricos “Hard” y “Soft” de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH). Histéresis piezoeléctrica. Intervalo de propiedades y clasificaciones de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH).

cerrada, con el área pequeña, y como materiales “ Soft”, aquellos que presentan una curva de histéresis abierta, con área expresiva. Los materiales “Hard” también son denominados materiales de alta potencia y los “Soft”, materiales de alta sensibilidad.

Existe una norma de la marina americana que divide los materiales “Hard” y “Soft” en sub-grupos, a través de los intervalos de propiedades y de acuerdo con las principales aplicaciones. Esta norma a menudo la utilizan como referencia los investigadores y diseñadores para crear las tablas de equivalencia entre los distintos fabricantes de cerámica piezoeléctrica y facilitar la elección de los materiales y el cambio de proveedor.

A continuación las características de los subgrupos:

- a) Navy Type I (“Hard”) Recomendado para aplicaciones de media y alta potencia en condiciones de uso continuo y repetitivo. Este es capaz de generar altas amplitudes de vibraciones manteniendo bajas las pérdidas mecánicas y dieléctricas. Propiedades de destaque: d_{33} , disipación dieléctrica y Q. Principales aplicaciones: Sistemas de limpieza por ultrasonido y sonares. Conocido comercialmente como PZT-4.
- b) Navy Type II (“Soft”) Alta sensibilidad, ideal para la transmisión y recepción de los dispositivos de baja potencia. Presenta pérdidas dieléctricas y mecánicas que impiden la excitación continua con alta intensidad. Propiedades de destaque: d, g_{15} , N y TC. Principales aplicaciones: Dispositivos para ensayos no destructivos, hidrófonos y acelerómetros. Comercialmente conocida como PZT-5A.
- c) Navy Type III (“Hard”) Similar, pero menos sensible que el Navy Type I; es capaz de convertir el doble de potencia manteniendo bajas las pérdidas mecánicas y dieléctricas. Recomendado para aplicaciones que precisen de alta potencia. Propiedades de destaque: Disipación dieléctrica, Q y conversión de potencia máxima. Principales aplicaciones: sistemas de soldadura por ultrasonidos y procesamiento de materiales. Comercialmente conocida como PZT-8.
- d) Navy Type IV (“Soft”) Adecuado para aplicaciones de potencia media. Se tornó obsoleto con la llegada de los PZT’s, siendo substituido principalmente por el Navy Type I (conforme nota de rodapé 5, o sub-grupo Navy Type IV es constituido por BT’s y no por PZT’s). Posee baja TC. Principales aplicaciones: manutención de equipos antiguos. Conocido comercialmente como Titanato de Bário.
- e) Navy Type V (“Soft”) Adecuado para aplicaciones que requieren alta energía y diferencia potencial. Propiedades destacadas: d_{33} , K33 y g_{33} . Principales aplicaciones: detonadores de impacto. Comercialmente conocida como PZT-5J.
- f) Navy Type VI (“Soft”) Adecuado para aplicaciones que requieren grandes deformaciones mecánicas. Propiedades destacadas: d 33 y K 33. Principales aplicaciones: actuadores y posicionadores. Comercialmente conocida como PZT-5H.

4.2.9 Formas y dimensiones³⁷

Las formas y dimensiones más comunes de las cerámicas piezoeléctricas comerciales son:

- a) Cerámicas piezoeléctricas de alta potencia para soldadura por ultrasonido en PZT-8 en el formato de anillos:
 - 50 x 20 x 5,15 mm
 - 50,8 x 19,1 x 3 mm
 - 38,1 x 19,1 x 5,15 mm
 - 30 x 10 x 6 mm
 - 25 x 12 x 3,15 mm
 - 25 x 10 x 4,15 mm

- b) Cerámicas piezoeléctricas de potencia para limpieza por ultrasonidos en PZT-4 en el formato de anillos:
 - 50 x 20 x 5,15 mm
 - 38 x 13 x 6,35 mm
 - 25 x 12 x 3,15 mm

- c) Cerámicas piezoeléctricas para sensores en PZT-5A:
 - Anillos de 38 x 13 x 6,35 mm
 - Anillo de 25 x 12 x 3,15 mm
 - Disco de 15 x 0,9 mm

4.3 Aplicaciones

4.3.1 Generadores piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico puede ser aprovechado para la producción de energía eléctrica, instalando estos materiales en el pavimento, por medio de placas generadoras de energía, las cuales pueden tener usos peatonales y vehiculares, con el fin de aprovechar la energía generada, para contribuir con una parte de la energía requerida para la iluminación de diversos espacios arquitectónicos interiores y exteriores, además de caminos, banquetas, plazas o lugares con un gran aforo vehicular y peatonal.

³⁷PEREIRA AHA e VENET M; Materiales y dispositivos piezoeléctricos, ATCP de Brasil, San Carlos-SP Brasil, 2004. Estructura Perovskita centrosimétrica y no centrosimétrica. Subdivisiones de los materiales piezoeléctricos "Hard" y "Soft" de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH). Histéresis piezoeléctrica. Intervalo de propiedades y clasificaciones de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH).

4.3.2 Efecto piezoeléctrico en pavimentos vehiculares.

En el caso de pavimentos vehiculares, es posible instalar un sistema de producción de energía mediante materiales piezoeléctricos, el cual consiste básicamente en situar estos materiales debajo de la última capa del pavimento, ya sea un pavimento de asfalto, o bien un pavimento de concreto, los materiales con efecto piezoeléctrico se deberán instalar dentro de placas diseñadas para contener el material.

Para accionar estas placas generadoras ubicadas en calles, avenidas e incluso carreteras; podrá aprovecharse el tráfico común, cotidiano y característico de las grandes ciudades. Este sistema será accionado mediante la aplicación de presión sobre las placas que contienen el material con efecto piezoeléctrico, este suministro de presión o bien peso, se dará con el continuo paso de los vehículos que circulan diariamente durante todas las horas del día sobre el pavimento, simplemente haciéndolos pasar encima de estas placas generadoras, produciendo un efecto piezoeléctrico que dará como resultado una carga eléctrica.

Los materiales piezoeléctricos, al estar ubicadas debajo de la última capa del pavimento, distribuidos a lo largo del camino, no producirán relieves o protuberancias que pudieran afectar la circulación o incluso generar fallas en los vehículos, los conductores de los vehículos no podrán percatarse de su instalación, además su instalación no alterará ni modificará el método de cálculo del pavimento ni sus resultados.

En un tramo de pavimento vehicular con una fuerte carga vehicular pueden llegar a Transitar alrededor de 20 vehículos por minuto, que en cuanto más pesados sean y más rápido circulen podría ser más la energía generada.

Estos materiales pueden aplicarse además en estaciones de tren, colocándolos en las vías y ser activados activarse con el paso de los trenes produciendo energía que puede aprovecharse en la iluminación de la estación.

Podemos pensar incluso en la instalación de estos materiales en el Sistema de Transporte Metro, debido a la gran afluencia peatonal de este.

En los aeropuertos, de igual forma, los aviones que recorren las pistas de aterrizaje serían los encargados de activar los materiales piezoeléctricos.

4.3.3 Efecto piezoeléctrico en pavimentos peatonales.

Para los pavimentos peatonales, los materiales con efecto piezoeléctrico se instalan de forma similar, es decir, mediante placas generadoras.

En este caso deberán ser diseñadas adecuadamente para ser integradas en el mismo pavimento, pudiendo dar a estas placas las medidas o formas necesarias para su

integración dependiendo del tipo de pavimento que se pretenda colocar o bien, el tipo de pavimento encontrado en una superficie existente.

En esta modalidad, las placas generadoras se encontrarán al mismo nivel del pavimento ya que en este caso las placas estarán expuestas a presiones o pesos menores (peatones), y estarán intercaladas como una especie de mosaicos que deberán colocarse en puntos estratégicos, la elección de estos puntos se dará en base al número de personas que circulan sobre un pavimento.

Debido a que la cantidad de energía generada será proporcional al número de personas que pisen o caminen sobre estas placas, produciendo un impacto, aplicando presión con su peso con su continuo caminar a cualquier hora, para accionar estas placas y producir energía eléctrica.

Si el pavimento a pesar de ser peatonal, está construido con concreto o cemento, los materiales piezoeléctricos deberán ser instalados de manera similar a su colocación en pavimentos vehiculares.

Cabe señalar que para todos los casos donde se pretenda aprovechar la energía generada por estas placas algún tipo de iluminación, se propone que esta sea de bajo consumo, es decir a base de leds.

La cantidad de energía que puede ser generada con este sistema se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18. Tablas de energía generada

Fuente:Tabla de adaptación propia de mediciones elaboradas por Innowattech Ltd., Technion I.I.T. Sep. 2010

a) Pavimento vehicular

Número de vehículos por hora	Peso en Ton (2.0 Ton /vehículo)	Energía obtenida en 1km (kWh)
500	1000	200
400	800	160
300	600	120
200	400	80
100	200	40

b) Pavimento peatonal

Número de personas por hora	Peso en ton (50 kg/persona)	Energía obtenida en 1km (kWh)	Energía obtenida en 100m (kWh)
3000	150	30	3
2500	125	25	2.5
2000	100	20	2
1500	75	15	1.5
1000	50	10	1

4.4 Prototipo Propuesto

Se realizó una placa generadora de energía con material de efecto piezoeléctrico con el objeto de llevar a cabo una comprobación de cómo puede producirse iluminación con estos materiales en un pavimento peatonal.

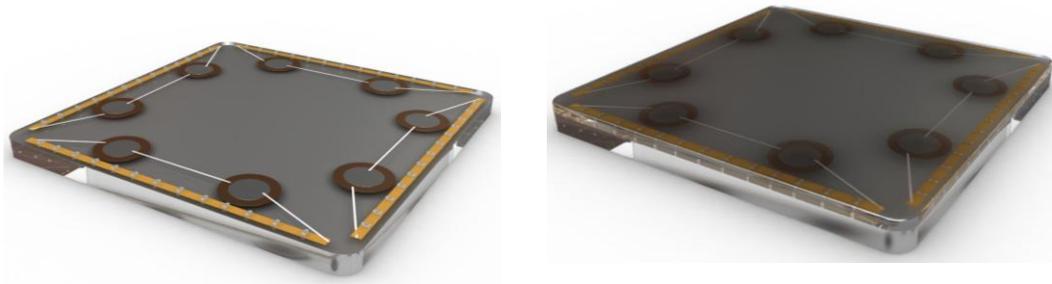
La idea de la placa generadora, consistió en un prototipo fabricado con dos placas de acrílico transparente de 30cm x 30cm para facilitar la visión hacia el interior, por ser prototipo, y un espesor de 10mm, como material con efecto piezoeléctrico se utilizó una cerámica artificial y por último leds de superficie, los cuales deberán encender al accionar la placa generadora.

Para este prototipo se realizó primeramente un diseño virtual que nos ayudará a tener más clara la estructura de esta placa, la imagen final de la misma y su funcionamiento. A continuación se muestran las imágenes virtuales del proceso de fabricación y forma de trabajo de la placa:

Figura 12. Prototipo de placa generadora

Fuente: Imágenes de elaboración propia



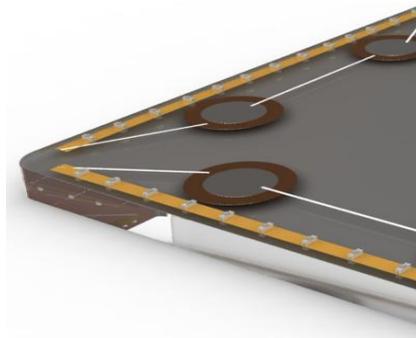


Las cerámicas piezoeléctricas se colocan sobre una de las placas de acrílico para posteriormente conectarlas entre sí por medio de un cable de conexión tipo membrana plástica.

Los leds de superficie fueron colocados en todo el perímetro de la placa de acrílico y fueron sueldados al cable conexión tipo membrana como se muestra en la sig. Imagen.

Figura 13. Leds de superficie en prototipo de placa generadora

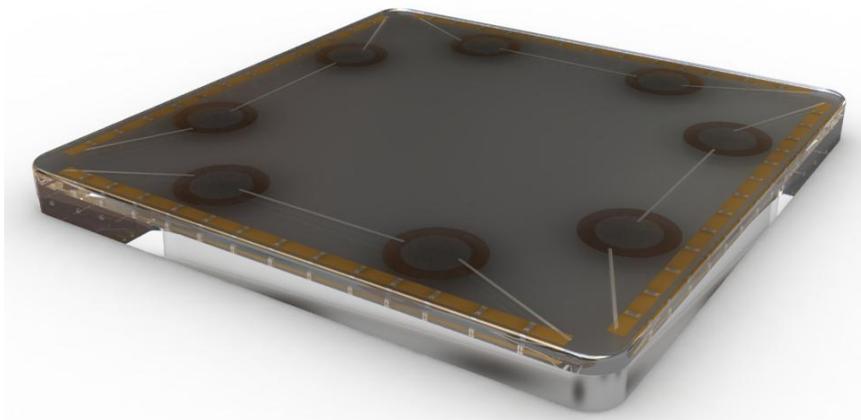
Fuente: Imágenes de elaboración propia



Este tipo de placa puede fabricarse con el tamaño de superficie deseado, sin embargo el prototipo se realizó de un tamaño similar al de las losetas y/o mosaicos comerciales en este caso 60x60 cm.

Figura 14. Prototipo de placa generadora

Fuente: Imágenes de elaboración propia



El funcionamiento básico de la placa consiste en hacer encender los leds de superficie que se encuentran en el perímetro de la misma, por medio de la aplicación de presión o peso de una persona que deberá caminar sobre la placa.

Figura 14. Prototipo de placa generadora con aplicación de presión.

Fuente: Imágenes de elaboración propia

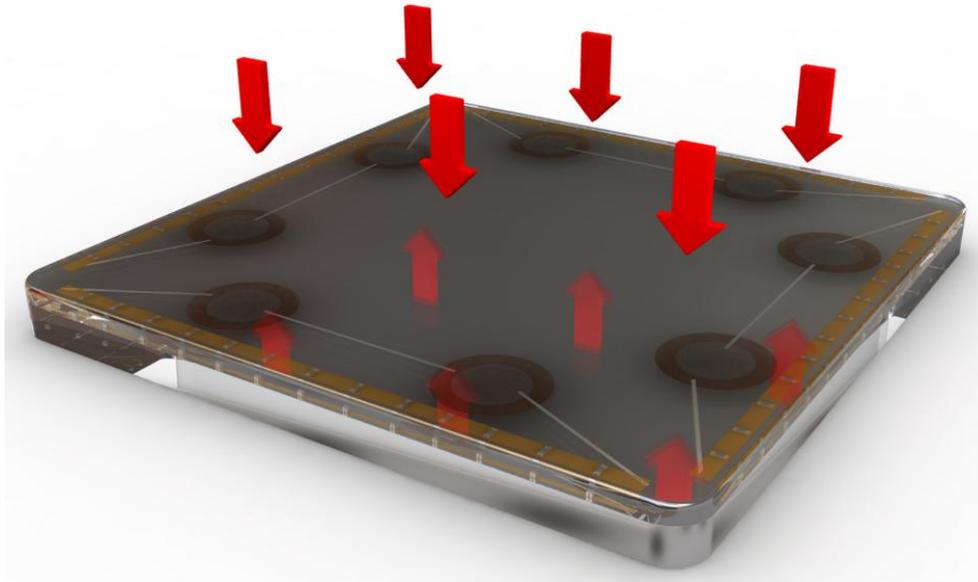
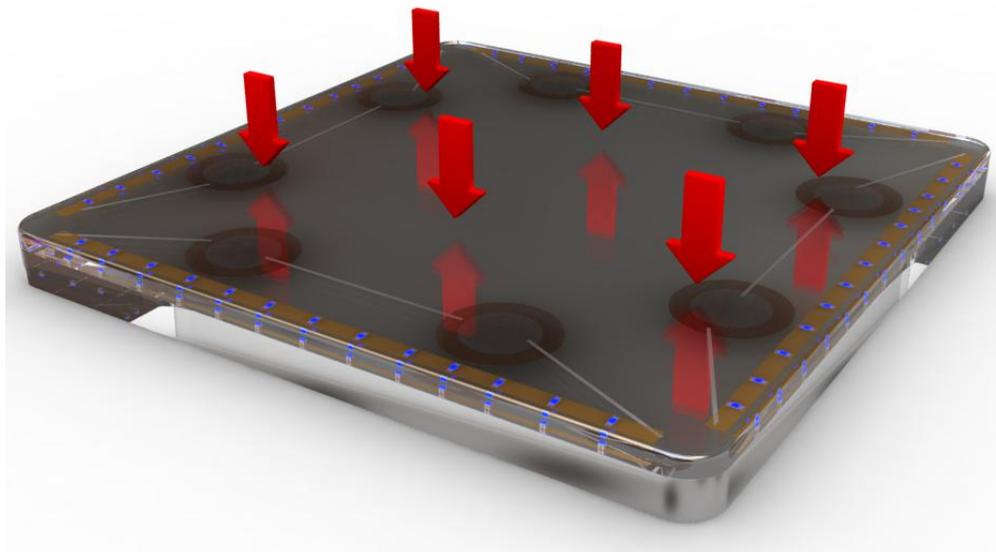


Figura 14. Prototipo de placa generadora con leds encendidos

Fuente: Imágenes de elaboración propia



4.5 Ejemplos análogos de aplicaciones de materiales piezoeléctricos en pavimentos para producción de energía.³⁸

Cabe señalar de hasta ahora la aplicación de estos materiales ha sido a nivel experimental, debido a que esta tecnología continua siendo relativamente nueva y está en desarrollo.

Sin embargo existen grupos multidisciplinarios en todo el planeta que están investigando y desarrollando y mejorando esta tecnología.

Podemos mencionar algunos ejemplos, tales como:

- Tokio, Japón.
A comienzos de 2008, la compañía ferroviaria Japan Railway East instaló un pavimento construido con materiales con efecto piezoeléctrico en las puertas automáticas de acceso a las estaciones del metro, debido a que por sus puertas transitan millones de personas cada día. La energía generada se utiliza para alimentar las puertas y el sistema de iluminación de la estación.
- Amsterdam, Holanda.
Actualmente, un club de baile localizado en Holanda el cual fue llamado “Watt”, utiliza estos materiales piezoeléctricos en su pista de baile, para que la energía generada por la gente al bailar, haga encender las luces colocadas en el piso.
- Israel.
Para el caso de pavimentos vehiculares, a la fecha de conclusión de esta tesis, no existe algún pavimento con esta tecnología que se encuentre en funcionamiento; solo se tiene evidencia de tramos de pavimento a nivel experimental para obtener mediciones.

³⁸ <http://peakenergy.blogspot.com/2010/01/converting-pedestrian-footsteps-into.html>

Conclusiones

Los pavimentos con materiales piezoeléctricos, son una nueva fuente de producción de energía alterna, que puede utilizarse para disminuir cantidad de energía requerida para iluminación, además de las diversas aplicaciones en espacios arquitectónicos reemplazando los diferentes sensores convencionales.

A pesar de ser una tecnología nueva y en desarrollo, estos materiales pueden convertirse en una nueva fuente de producción de energía eléctrica, la cual en nuestros días puede tener un sin fin de aplicaciones.

La energía eléctrica se ha vuelto indispensable en nuestras vidas, por ello la búsqueda de nuevos métodos que no consuman recursos naturales o no renovables son indispensables para el futuro del planeta.

Las posibles aplicaciones de los materiales con efecto piezoeléctrico son ilimitadas en diversas disciplinas, no solo se limitan a los pavimentos, de hecho otras disciplinas han logrado mayores avances para el desarrollo de esta tecnología.

Se proponen además otras aplicaciones en pavimentos, donde la energía generada mediante estos pavimentos, puede ser aprovechada de diversas formas tales como:

- Utilizarse para reemplazar los sensores de presencia tradicionales, los cuales se activan por medio del movimiento, para que estos al ser remplazados por un sensor piezoeléctrico puedan ser activados al aplicarles presión por medio del paso de las personas que entren al espacio que va ser iluminado.
- Como sensores de sanitarios para accionar lavabos o wc.
- Para contabilizar el número de personas que ingresan en un espacio determinado.
- Para trazar el recorrido en una salida de emergencia de forma que el camino pueda ser iluminado cuando las personas circulen sobre él, sin necesidad de alguna otra fuente de energía eléctrica.
- Para alarmas detectoras de presencia de un individuo en lugares de acceso restringido.
- La automatización de puertas para abrir y cerrar por medio de la pisada de una persona.

El tema de tesis y sus resultados permitieron la creación de algunas líneas para continuación de esta investigación en aspectos tales como:

- La aplicación de materiales con efecto piezoeléctrico en sensores para diversas aplicaciones en espacios arquitectónicos.
- El prototipo de placa generadora realizado es importante porque nos permite comprobar la hipótesis, al esta placa es sujeto de perfeccionamiento; el cual puede darse mediante la cooperación con un grupo multidisciplinario de esta Universidad; para de este modo, ser incluso capaces de generar una patente por medio de la UNAM.
- Al tratarse de una tecnología de punta, se puede continuar experimentando y haciendo mediciones, para el surgimiento de otras aplicaciones diferentes a las obtenidas y efectuar otros diseños de placas para mejorar el funcionamiento.

Bibliografía

- BID-PNUD, 1991. Nuestra propia Agenda, CFE, México
- Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras y sus Medidas de Mitigación. IMT/SCT. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro.
- Catálogo de tipos y obras de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
- Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, Informe especial sobre la violación al derecho humano a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado por el deterioro y desaparición del suelo de conservación del Distrito Federal, 1ra. Edición, 2005.
- Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, Informe especial sobre la violación al derecho humano a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado por el deterioro y desaparición del suelo de conservación del Distrito Federal, 1ra. Edición, 2005.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del desarrollo, Nuestro Futuro Común, Alianza Editorial, 1987.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del desarrollo, Nuestro Futuro Común, Alianza Editorial, 1987.
- Declaración de Estocolmo, Medio Ambiente, Comisión del Medio Ambiente de la ONU.
- Declaración de Estocolmo, Medio Ambiente, Comisión del Medio Ambiente de la ONU.
- ECONOMÍA DE MÉXICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE 2008. Ulises Castro Álvarez Universidad de Guadalajara, México.
- Engineering for Sustainable Development, September 2005, Published by The Royal Academy of Engineering.
- Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de Inversión. Nacional Financiera.
- Historia de las Obras Públicas en México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Primera edición: diciembre 1999. Tomo I
- IMT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1999.
- Informe anual. Banco Mundial, Washington. Informe sobre el desarrollo mundial 1992; desarrollo y ambiente, Washington.
- Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Mayo de 2009).
- Manual de operaciones FONEP, Fondo Nacional de estudios y proyectos. Nacional Financiera. Fideicomiso de fomento económico, 1998.
- Moyano Bonilla, César, Derecho a un Medio Ambiente Sano, Boletín del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, No. 84, México, 1995.
- Moyano Bonilla, César, Derecho a un Medio Ambiente Sano, Boletín del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, No. 84, México, 1995.
- National Guide to Sustainable Infrastructure Update, Editor: A. Grant Lee, MCIP, RPP, FCInst. M Canada Marzo 2003.
- Olivares Ruiz, Landy, Reflexiones en torno a los derechos humanos y el medio ambiente, www.ine.gob.mx.
- Olivares Ruiz, Landy, Reflexiones en torno a los derechos humanos y el medio ambiente, www.ine.gob.mx.
- Preparación y evaluación de proyectos. Nassir Sapag, Chain y Nassir Sapag, Reinaldo. 3ra Edición, Colombia. Ed. Mc. Graw- Hill, 1995.
- -GALLEGO, J.; Piezoelectric ceramics and ultrasonic transducers, J. Phys. Sci. Instrum., 22 804-816 1989.
- -SUSLICK, K.S.; The Chemical Effects of Ultrasound, Scientific American 1989.

- -CADY, W. G.; Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals, Dover Press, 1964.
- -JAFFE, B.; Piezoelectric Ceramics, Academic Press, 1971.
- -Piezoelectric Ceramic for Sonar Transducers (Hydrophones & Projectors) Military Standard US DOD MIL STD 1376 (1984).
- -PEREIRA AHA e VENET M; Materiais e dispositivos piezoelétricos: www.atcp.com.br, ATCP do Brasil, São Carlos-SP Brasil, 2004. Estructura Perovskita centrossimétrica y no centrossimétrica. Subdivisiones de los materiales piezoelétricos “Hard” y “Soft” de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH). Histéresis piezoeléctrica. Intervalo de propiedades y clasificaciones de acuerdo con la norma americana DOD-STD-1376A (SH).
- -Ciencia de materiales para ingenieros. James F. Shackelford. University of California. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- PROGRAMA CARRETERO 2007-2012. Secretaria de Comunicaciones y Transportes

Internet

- www.civ.utoronto.ca/sir/default.htm 29 mayo 2009
- www.greenplaybook.org/infrastructure/index.htm 29 mayo 2009
- www.sct.gob.mx/carreteras Septiembre de 2009
- <http://www.piezo.com/> Septiembre 2010

Anexo 1. Normalización vigente en materia de pavimentos.

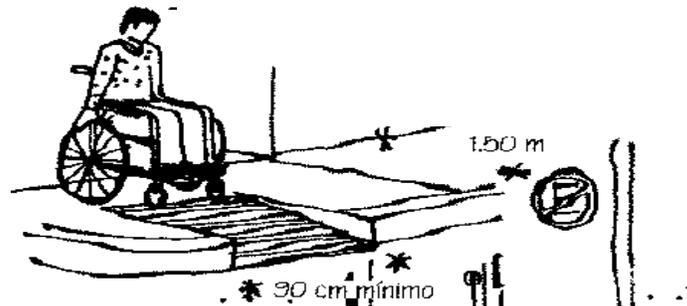
1. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL³⁹

Quinta edición 2005

Art. 10. Se requiere de autorización de la Administración para:

- I. Realizar obras, modificaciones o reparaciones en la vía pública;
- II. Ocupar la vía pública con instalaciones de servicio público, comercios semifijos, construcciones provisionales o mobiliario urbano.
- III. Romper el pavimento o hacer cortes en las banquetas y guarniciones de la vía pública para la ejecución de obras públicas o privadas, y
- IV Construir instalaciones subterráneas o aéreas en la vía pública.

Art. 17 Mínimo 1.50 m para el ancho de la banqueta. La pendiente no será mayor de 5 %. No hacer las pendientes para bajar en la esquina.



a) CIRCULACIONES PEATONALES EN ESPACIOS EXTERIORES

Deben tener un ancho mínimo de 1.20 m, los pavimentos serán antiderrapantes, con cambios de textura en cruces o descansos para orientación de ciegos y débiles visuales. Cuando estas circulaciones sean exclusivas para personas con discapacidad se recomienda colocar dos barandales en ambos lados del andador, uno a una altura de 0.90 m y otro a 0.75 m, medidos sobre el nivel de banqueta

³⁹ Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Luis Arnal Simón Max Betancourt Suárez. Quinta edición 2005. Ed. Trillas

b) **ÁREAS DE DESCANSO**

Cuando así lo prevea el proyecto urbano, éstas se podrán localizar junto a los andadores de las plazas, parques y jardines con una separación máxima de 30.00 m y en banquetas o camellones, cuando el ancho lo permita, en la proximidad de cruceros o de áreas de espera de transporte público; se ubicarán fuera de la circulación peatonal, pero lo suficientemente cerca para ser identificada por los peatones.

c) **BANQUETAS**

Se reservará en ellas un ancho mínimo de 1.20 m sin obstáculos para el libre y continuo desplazamiento de peatones. En esta área no se ubicarán puestos fijos o semi-fijos para vendedores ambulantes ni mobiliario urbano. Cuando existan desniveles para las entradas de autos, se resolverán con rampas laterales en ambos sentidos.

d) **CAMELLONES**

Se dejará un paso peatonal con un ancho mínimo de 1.50 m al mismo nivel que el arroyo, con cambio de textura para que ciegos y débiles visuales lo puedan identificar. Se colocará algún soporte, como barandal o tubo, como apoyo a las personas que lo requieran.

e) **RAMPAS ENTRE BANQUETAS Y ARROYO de peatones.**

Tendrán un ancho mínimo de 1.00 m y pendiente máxima del 10% así como cambio de textura para identificación de ciegos y débiles visuales. Deben estar señalizadas y sin obstrucciones para su uso, al menos un metro antes de su inicio.

Adicionalmente deben cumplir con lo siguiente:

I. La superficie de la rampa debe ser antiderrapante;

II. Las diferencias de nivel que se forman en los bordes laterales de la rampa principal se resolverán con rampas con pendiente máxima del 6%;

II. Cuando así lo permita la geometría del lugar, estas rampas se resolverán mediante alabeo de las banquetas hasta reducir la guarnición al nivel de arroyo;

III. Las guarniciones que se interrumpen por la rampa, se rematarán con bordes boleados con un radio mínimo de 0.25 m en planta; las aristas de los bordes laterales de las rampas secundarias deben ser boleadas con un radio mínimo de 0.05 m;

- IV. No se ubicarán las rampas cuando existan registros, bocas de tormenta o coladeras o cuando el paso de peatones esté prohibido en el cruce;
- V. Las rampas deben señalizarse con una franja de pintura color amarillo de 0.10 m en todo su perímetro;
- VI. Se permiten rampas con solución en abanico en las esquinas de las calles sólo cuando la Administración lo autorice; y
- VII. Se permiten rampas paralelas a la banqueta cuando el ancho de la misma sea de por lo menos 2.00 m

f) RAMPAS PEATONALES

Las rampas peatonales que se proyecten en las edificaciones deben cumplir con las siguientes condiciones de diseño:

- I. Deben tener una pendiente máxima de 8% con las anchuras mínimas y las características que se establecen para las escaleras en el inciso 4.1.3; la anchura mínima en edificios para uso público no podrá ser inferior a 1.20 m;
- II. Se debe contar con un cambio de textura al principio y al final de la rampa como señalización para invidentes; en este espacio no se colocará ningún elemento que obstaculice su uso;
- III. Siempre que exista una diferencia de nivel entre la calle y la entrada principal en edificaciones públicas, debe existir una rampa debidamente señalizada;
- IV. Las rampas con longitud mayor de 1.20 m en edificaciones públicas, deben contar con un borde lateral de 0.05 m de altura, así como pasamanos en cada uno de sus lados, debe haber uno a una altura de 0.90 m y otro a una altura de 0.75 m;
- V. La longitud máxima de una rampa entre descansos será de 6.00 m;
- VI. El ancho de los descansos debe ser cuando menos igual a la anchura reglamentaria de la rampa;
- VII. Las rampas de acceso a edificaciones contarán con un espacio horizontal al principio y al final del recorrido de cuando menos el ancho de la rampa; y
- VIII. Los materiales utilizados para su construcción deben ser antiderrapantes.

2. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT), NORMAS TÉCNICAS PARA EL PROYECTO DE PUENTES. CAPÍTULO 1 (1984).⁴⁰

K. GUARNICIONES, BANQUETAS Y MEDIANAS

K.1. GUARNICIONES

Las guarniciones, que son elementos de concreto colocados en las orillas de la calzada de la estructura, con el propósito de encauzar el tránsito vehicular y servir de base a un parapeto o a una defensa, tendrán una altura mínima, sobre la superficie de rodadura, de treinta (30) centímetros y un ancho mínimo en sus bases de cuarenta (40) centímetros. Las caras de las guarniciones del lado de la calzada, serán inclinadas con talud de uno a tres (1:3), horizontal a vertical, respectivamente.

En caso de que las guarniciones tengan una proyección horizontal en su base hacia la calzada, dicha proyección tendrá un ancho máximo de veinticinco (25) centímetros, medido desde el pie de la base inclinada hasta el plano vertical tangente a la cara interior de la defensa o parapeto.

En los accesos a la estructura, las guarniciones se prolongarán en una longitud mínima de veinte (20) metros y estarán provistas de defensas, excepto en zonas urbanas en las cuales deben tener parapetos. La altura de las guarniciones en los accesos puede ser igual o menor a la de la guarnición en la estructura. Los extremos de las defensas en los accesos, ancladas en el hombro o bordillo, se rematarán en forma inclinada y alabeada hacia afuera para protección del conductor.

K.2. BANQUETAS

Las banquetas, elementos de concreto construidos en las orillas de la calzada, cuyo objetivo es permitir, en condiciones de seguridad, el paso de peatones, tendrán un ancho libre mínimo de setenta y cinco (75) centímetros, medido horizontalmente desde el pie de la banqueta hasta el plano vertical tangente al parapeto por el lado de la calzada. En zonas urbanas, el ancho libre de las banquetas será, preferentemente, igual al de las banquetas en los accesos. La altura mínima de las banquetas sobre la superficie de rodadura será de veinticinco (25) centímetros.

K.3. MEDIANAS

Las medianas, elementos de concreto o acero que se colocan sobre la calzada de la estructura cuando la carretera es de tres o más carriles y cuenta con barreras centrales, para separar los sentidos de circulación e incrementar la seguridad de los usuarios, tendrán una altura mínima de ochenta (80) centímetros y un ancho en su base no mayor

⁴⁰ Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Normas Técnicas para el proyecto de puentes. Capítulo 1.

de sesenta (60) centímetros. En zonas urbanas, las medianas deben tener las mismas características que las barreras centrales de los accesos.

L. PARAPETOS

Los parapetos son sistemas de postes verticales y elementos longitudinales que se colocan sobre las guarniciones o las banquetas, a lo largo de los extremos longitudinales de la estructura, como se detalla en las Fracciones L.1. a L.3. de esta Norma, principalmente para la protección de los usuarios. Los elementos longitudinales pueden ser uno o varios y estar constituidos por vigas de concreto, tubos y perfiles metálicos, o defensas metálicas de lámina.

En las estructuras para vías rápidas urbanas, que cuenten con banquetas, se deben instalar los parapetos para vehículos automotores en las orillas interiores de éstas y en las exteriores, los parapetos peatonales.

Se deben cuidar las proporciones y el aspecto de los parapetos para que sean estéticos y armonicen con el aspecto general de la estructura.

Los materiales a emplear en la construcción de los parapetos pueden ser concreto reforzado o presforzado, acero, madera o una combinación de ellos. Sin embargo, en parapetos para vehículos automotores no deberán emplearse materiales metálicos con un alargamiento comprobado a la falla menor que el diez (10) por ciento.

L.2. PARAPETOS PEATONALES

L.2.1. Los parapetos peatonales, que se construyen en estructuras diseñadas específicamente para la circulación de personas, o en aquellas estructuras en que se estime necesaria la protección de los peatones, pueden ser como los mostrados en la Figura 4 de esta Norma.

L.2.2. Sus componentes se diseñan de acuerdo con el tránsito esperado de peatones, tomando en cuenta aspectos de seguridad y de apariencia. Cuando la estructura permita el tránsito mixto de vehículos automotores y peatones, también se debe considerar la seguridad y la libre visibilidad de los ocupantes de los vehículos.

L.2.3. La altura del parapeto peatonal no debe ser menor de un (1) metro, medido desde el nivel de la banqueta a la parte superior del elemento longitudinal más alto.

L.2.4. Los elementos verticales y horizontales del parapeto se disponen de modo que en la banda entre la superficie de la banqueta y una línea a setenta (70) centímetros por encima de ella, no pase una esfera de quince (15) centímetros de diámetro y en la banda horizontal restante del parapeto no pase una esfera de veinte (20) centímetros. Si el sistema del parapeto emplea tanto elementos horizontales como verticales, los requerimientos de separación se aplican a unos o a otros pero no a ambos. En general los elementos longitudinales se colocan sobre la cara de los postes hacia el tránsito de peatones.

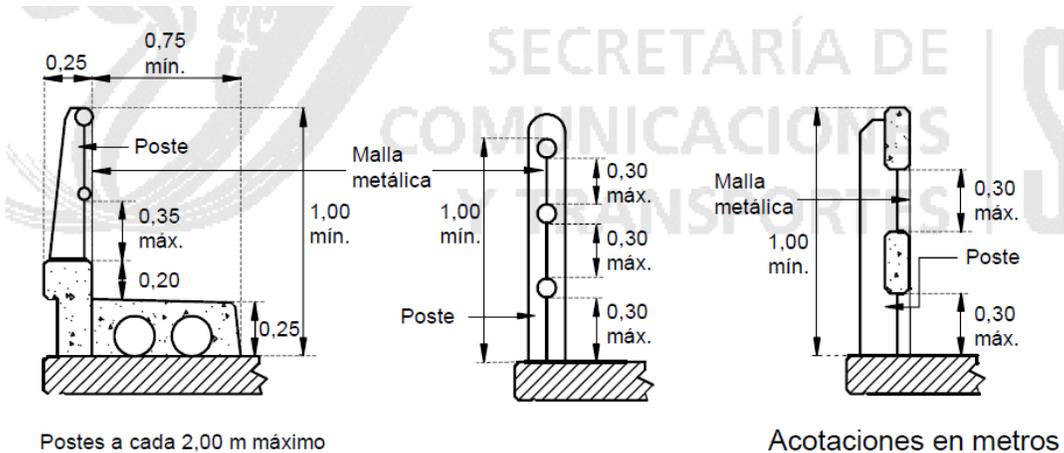


FIGURA 4.- Parapetos peatonales

3. NONORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL DISTRITO FEDERAL.

1° de mayo de 2008

- a) Libro 1: Disposiciones Generales y Terminología en la Obra Pública
- b) Libro 2: Servicios Técnicos.
- c) Libro 3: Construcción e Instalaciones.
- d) Libro 4: Calidad de los Materiales.
- e) Libro 5: Calidad de Equipos y Sistemas que Pasen a Formar Parte de las
- f) Obras.
- g) Libro 6: Muestreo y Pruebas de los Materiales y Equipos.*
- h) Libro 7: Puesta en Servicio de las Obras.
- i) Libro 8: Conservación y Mantenimiento de Obras e Instalaciones.
- j) Libro 9: Particularidades de Normatividad en la Obra Pública, según la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma y su Reglamento.
- k) Libro 9A: Particularidades de la Obra Pública, según la Ley de Obras Públicas del Distrito Federal y su Reglamento.