
Consideraciones, procedimientos y conceptos para la realización de un proyecto geométrico de carreteras

Jorge A. Montaña De León¹, Dr. David Zúñiga De León², Mtro. Alberto Rodríguez Esparza³

¹Estudiante del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

^{2,3}Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Dónde se trata de las consideraciones concernientes a un proyecto geométrico de una carretera. Se documentaron 5 componentes básicos: localización, diseño geométrico, pavimentos, pasos a desnivel y seguridad. Se hace mención a la metodología para la composición documental para generar un proyecto geométrico de carreteras.

Palabras Clave: Proyecto geométrico, carretera

Introducción

Las vías terrestres constituyen una necesidad social, ya que representan uno de los patrimonios más valiosos con el que cuenta cualquier país. La magnitud y calidad de la infraestructura vial representa parte del grado de desarrollo del mismo, por lo que se reconoce que en el caso de las carreteras, se deben considerar una variedad de características que resulta difícil un pronunciamiento absoluto.

Pero, ¿qué es una carretera y cuáles son sus orígenes? una carretera se considera una vía transitable para vehículos automotrices de dominio público,

construida principalmente para la circulación de los mismos. Ésta, contiene aspectos generales como su clasificación, su estructura y sus especificaciones geométricas. Sus orígenes datan de Mesopotamia hace 5,000 años debido a la invención de la rueda que ocasionó la necesidad de construir superficies de rodamiento que permitieran la circulación del tránsito en esa época. Los primeros caminos construidos científicamente aparecieron en los comienzos del imperio Romano, con la famosa Vía Appia, la cual conectaba a Roma con Hidruntum. Figura 1.



Figura 1. Vía Appia, de Roma a Hidruntum. Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas, 2007.

El transporte mundial, está experimentando importantes cambios con el curso de los años, influenciado fundamentalmente por la población y tratando de adaptarse a posibles situaciones, es por eso que para lograr una mejor calidad al momento de construir una carretera siempre ha de ser necesario elaborar un anteproyecto. Éste no es más que el diseño de vialidades o carreteras que incluyen todos aquellos elementos relacionados tales como: alineamiento horizontal, vertical y las diversas componentes de la sección transversal, para las que existe una gran cantidad de normativas que, sustentadas en investigaciones de campo, respaldan numerosos aspectos de un proyecto geométrico de carreteras (Rodríguez, et al. 1998).

Una de las principales consideraciones al momento de planear y desarrollar un proyecto geométrico es la localización, ya que de esta depende el éxito de las etapas subsecuentes principalmente

en la funcionalidad y costo ejecutivo. En pocas palabras establecer la factibilidad técnica y económica de la necesidad de una obra vial, la facilidad, proximidad, y el uso del suelo son consideraciones importantes en la selección de la ruta de carreteras, (Jha & Kim, 2006). Una nueva carretera puede atraer a nuevos desarrollos de vivienda, negocios e industria, debido a la mejora del acceso obtenido, lo que permite cambios significativos en el uso del suelo. La accesibilidad de las carreteras puede ser pensada como un incentivo para los usuarios de la misma, aunque también se debe tener en cuenta los efectos asociados al aumento de ruido y contaminación. Estos efectos deben ser considerados en la etapa de planificación ya que las decisiones tomadas en esta etapa pueden resultar en un ahorro considerable de tiempo y dinero. La variación de acceso, los costos, proximidad y accesibilidad en relación con las distancias se representan gráficamente en la Figura 2.

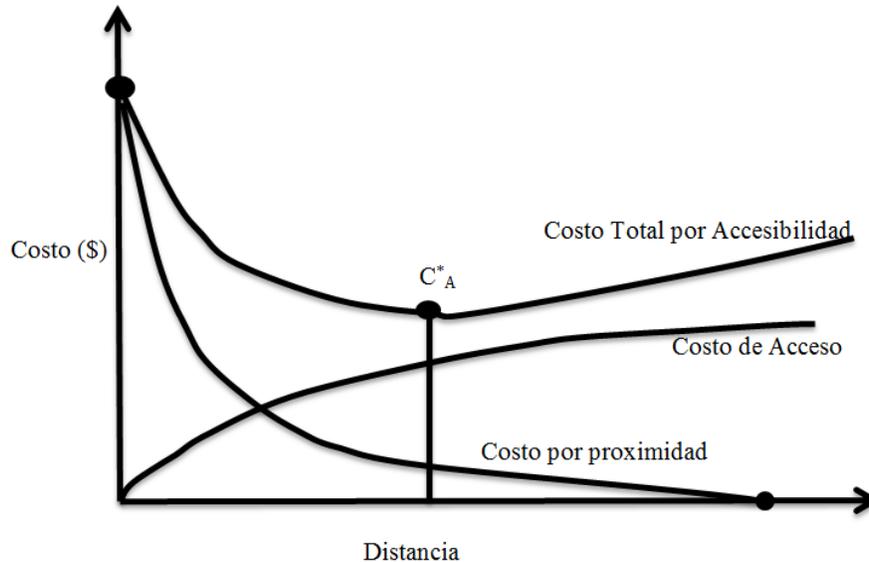


Figura 2. Variación de acceso, de proximidad y de los costos totales de accesibilidad con la distancia.
Fuente: Jha & Kim, 2006.

La decisión del diseño geométrico de una obra vial, junto con su localización, construcción, supervisión, operación y conservación no deben basarse exclusivamente en los aspectos técnicos, más bien se debe complementar con un análisis económico que integre los principales costos de transporte durante la planificación del proyecto. Los costos de construcción y de operación de vehículos se consideran como los más afectados por la elección de la ruta que se decide tomar para realizar la carretera (Hernández, 1995). Parte de la localización de una carretera, tiene como influencia el tener que ser conectada a una de las calles principales o troncales de alguna ciudad o país, siendo éste un aspecto importante para el desarrollo de la región donde se plantee un proyecto geométrico vial.

Debe existir un criterio apropiado de la clasificación de una carretera en relación

a este último aspecto. Es común que cada país cuente con su propia clasificación; por ejemplo, México cuenta con tres maneras para diferenciar los caminos: La clasificación de transitabilidad, que se refiere a su estado de construcción (pavimentada, revestida o a nivel terracería); la administrativa, que se clasifica según la dependencia del gobierno que tiene a cargo la construcción y conservación ya sea Federal o Estatal; y la clasificación técnica oficial, siendo ésta la usada para el diseño geométrico de autopistas la cual permite distinguir en forma precisa la categoría física de la misma y toma en cuenta al Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) esperado al final del proyecto, así que la carretera se clasificaría como se indica en la Tabla 1.

Tipo	Uso
A4	Para un TPDA de 5,000 a 20,000 vehículos.
A2	Para un TPDA de 3,000 a 5,000 vehículos.
B	Para un TPDA de 1,500 a 3,000 vehículos.
C	Para un TPDA de 500 a 1,500 vehículos.
D	Para un TPDA de 100 a 500 vehículos.
E	Para un TPDA de hasta 100 vehículos.

Tabla 1. Clasificación de Carreteras

Una clasificación vanguardista debe de anteponer siempre una categorización funcional a cualquier otra (Mendoza, et al. 2004), esto con el fin de definir la operación deseada para la vialidad. Una vez definida, se utilizan las características correspondientes a ese tipo de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT). Lo anterior se muestra en la Tabla 2.

Concepto	Tipo de Carretera																													
	E				D				C				B				A													
TPDA de proyecton (veh/día)	Hasta 100				100 a 500				500 a 1,500				1,500 a 3,000				Más de 3,000													
Terreno	Montañoso																													
	Lomerío																													
	Plano																													
Velocidad de proyecto (km/h)	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	110	60	70	80	90	100	110
Dist. Visibilidad de parada (m)	30	40	55	75	95	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	55	75	95	115	135	155	175	75	95	115	135	155	175
Dist. Visibilidad de rebase (m)	-	-	-	-	-	135	100	225	270	315	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360	405	450	495	270	315	360	405	450	495
Grado máximo de curvatura (°)	60	30	17	11	8	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.3	3.3	17	11	7.5	5.5	4.3	3.3	2.8	11	7.5	5.5	4.3	3.3	2.8
Curvas verticales K (m%)	Cresta																													
	Columpio																													
Longitud mínima de curvas (m)	20	30	30	40	40	20	30	30	40	40	30	30	40	40	50	50	60	30	40	40	50	50	60	60	40	40	50	50	60	
Pendiente Gobernadora (%)	9	7	-	8	6	6	-	6	-	6	5	-	5	-	5	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	3	-	3	-	
Pendiente máxima (%)	13	10	7	12	9	9	6	8	-	7	7	-	5	7	-	6	-	4	6	-	4	6	-	4	6	5	-	4	4	
Ancho de calzada (m)	4.0				6.0				6.0				7.0				7.0				A2 7.0 2 Carriles	A4 2x7.0 4 Carriles	A4S 2x7.0 4 Carriles							
Ancho de corona (m)	4.0				6.0				7.0				9.0				9.0				12.0 un cuerpo	22.0 un cuerpo	2x11.0 cuerpos separado s							
Ancho de acotamiento (m)	-				-				0.5				1.0				1.0				2.5	3.0 Ext. 0.5 Int.	3.0 Ext. 1.0 Int.							
Ancho separador central	-				-				-				-				-				-	≥1.0	≥8.0							
Bombeo (%)	3				3				2				2				2				2									
Sobreelevación máxima (%)	10				10				10				10				10				10									

Tabla 2. Características geométricas de las carreteras de la SCT. Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas, 2007.

Una vez definida la clasificación de la carretera se elige la velocidad de proyecto y el vehículo de diseño, que son dos elementos básicos en el planteamiento. Estos parámetros a la postre permiten integrar el arreglo geométrico de la carretera. Una vez hecho lo anterior, se toman decisiones para proponer las velocidades de operación de la carretera cuando entre en servicio.

Metodología

Este trabajo se elaboró en base a diversas fuentes de literatura, particularmente aquellas que han servido de apoyo a la integración de los diversos conceptos para la consolidación de proyectos geométricos de carreteras. Estos conceptos fueron utilizados como guía para dar forma y

justificar los procesos y consideraciones del mencionado proyecto.

Tres bases de datos fueron clave para el estudio: BIVIR, de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Publicaciones del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

Resultados

El elemento principal del diseño geométrico de carreteras surgió en Estados Unidos en 1930, con el supuesto de que dicha velocidad sería la máxima utilizada por los conductores por su seguridad (Choi, et al. 2013). Con una elección correcta de la velocidad de proyecto, las carreteras inducen que el conductor las opere de la manera más adecuada, adaptándolo a cualquier situación topográfica que se pueda presentar Figura 3.



Figura 3. Topografía de un sector de la Carretera Camino Real de Ciudad Juárez Chih. Fuente: Centro de Investigación Geográfica del Instituto de Ingeniería y Tecnología

El diseño geométrico de un proyecto implica definir el alineamiento horizontal y

vertical que se describe a continuación. Se entiende por alineamiento horizontal la

proyección sobre un plano tendido del eje de la subcorona del camino. Este se forma por rectas y curvas que definen lo que será la longitud de la carretera y sus posibles intersecciones con otras vialidades o estructuras. Por otro lado, el alineamiento vertical es la proyección erguida de la subcorona o subrasante, y está compuesto por tangentes y curvas que representan al terreno por donde irá pasando la carretera según sea el terreno plano o montañoso.

El objetivo de combinar los conceptos antes mencionados es obtener un proyecto eficiente que ofrezca las condiciones de seguridad y capacidad necesarias, además de resultar un camino uniforme y de mejor operación. Dicha combinación se debe de adaptar a la velocidad de proyecto, en caso de que los alineamientos se perjudiquen entre sí, aunque para evitar esto se pueden tomar en cuenta varias normas como un balance entre

curvaturas y pendientes de los dos alineamientos, tratando de no generar curvas horizontales cerca o dentro una curva vertical, (Mendoza, et al. 2002).

Para continuar con el diseño de una obra vial es necesario generar una plantilla base, de lo que sería la sección transversal de la obra vial, que junto con la velocidad de proyecto y el tipo de carretera seleccionados, sería la base del dimensionamiento geométrico (Mendoza, et al. 2004); esto se reporta en la Tabla 2. También, la Figura 4 muestra que la sección transversal de una carretera está compuesta por el ancho de la zona o derecho de vía, las contra cunetas y cunetas, las obras de drenaje menores, los taludes laterales de corte y terraplén, la subrasante, Las capas de base y sub-base, la carpeta según sea asfáltica para pavimento de tipo flexible o de Concreto hidráulico para pavimento rígido y otros elementos complementarios.

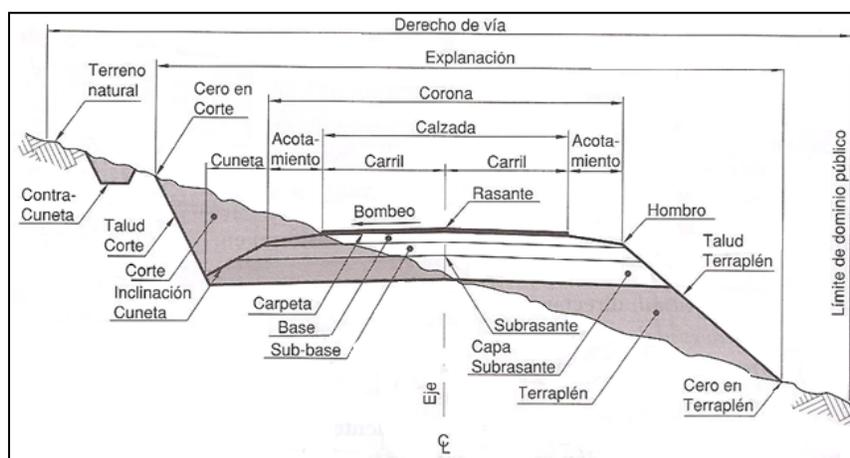


Figura 4. Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta. Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

De tal forma un proyecto vial, también requiere formular el diseño de pavimentos. Éste, se compone de capas de material seleccionado, que funcionan como superficie de rodamiento y comprende a la subrasante, subcorona y corona que tienen por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito de manera que los esfuerzos sean distribuidos uniformemente y a niveles satisfactorios a las terracerías a través de todo el pavimento. En este sentido, Rodríguez y otros autores (1990) recomendaron a los ingenieros responsables de proyectos en la construcción y conservación de las carreteras, un manual de calidad de materiales para usar en las secciones estructurales de carreteras que forman la estructura del pavimento. De esta forma, el pavimento tendrá un comportamiento adecuado y una mínima conservación, a lo largo de su vida útil, este concepto de gestión de pavimentos surgió en la década de los 60s como respuesta a la necesidad de abordar el problema de la conservación de carreteras de manera sistemática (Solorio, et al. 2013). Por último, las cargas transmitidas y los volúmenes de tránsito que actualmente circulan en las carreteras mexicanas, sobre todo en la red federal troncal, así como en los nuevos proyectos de modernización de autopistas es la falta de materiales de calidad y su pésima supervisión. Lo anterior, muestra que en una carretera de alta calidad debe de supervisarse adecuadamente y con materiales de alta calidad ya que estos representan el factor más importante. (Zhang, et al. 2014).

La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación de los

vehículos es significativa, en condiciones óptimas de circulación y asociados con una carretera pavimentada, bien conservada, un buen diseño de drenaje pluvial, recta en terreno plano y sin problemas de tránsito, provocan un nivel de servicio óptimo para los operadores de las obras viales; en cambio, la presencia de imperfecciones, afecta las condiciones de operación y por lo tanto, los costos correspondientes (Arriaga, et al. 1998).

El criterio que debe orientar las decisiones en el área de transporte es para minimizar los costos nacionales totales durante la vida útil del camino. El gran crecimiento del transporte nacional en número y peso de vehículos presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores. Es necesario entonces proyectar la evolución del estado de los pavimentos utilizando los denominados modelos de deterioro, los cuales pueden clasificarse como, subjetivos, puramente mecánicos, de regresión o empíricos mecanicistas (Solorio, et al. 2014). Para determinar entonces los diseños de drenaje, la sección y los materiales óptimos para soportar determinados volúmenes de tránsito durante la vida útil de la carretera.

El crecimiento económico de cualquier ciudad suele dar como consecuencia el aumento en los volúmenes de tránsito vehicular, por lo cual la capacidad de operación vial se vuelve un reto al momento del diseño de una vialidad, sobre todo si esta cuenta con intersecciones. Así que se plantea un diseño de un paso a desnivel para la canalización del tránsito ya

antes mencionado, evitando diversas condiciones que puedan ralentizar el flujo vehicular sobre todo en zonas de intersección. Con lo anterior, se puede tratar de canalizar a los automóviles al camino correcto, estableciendo marcas de tránsito con señalamientos de tráfico, con el fin de garantizar a las entidades que transitan el poder moverse con seguridad, en orden y sin ninguna interrupción del flujo vehicular a lo largo de una ruta y dirección específica, agilizando la circulación vehicular provocados por los efectos de control que estos pasos a desnivel proveen, (Li, et al. 2014). Estos elementos pueden ser significativos en términos de accidentes si no se cuenta con algunas características, como carriles más amplios que el ancho de circulación normal, y contar con barandillas longitudinales diseñadas para no experimentar deflexión ante impactos.

En relación a la seguridad en las carreteras el proyecto geométrico es fundamental. Esto, debido a que los accidentes son una consecuencia inevitable de movilidad y su severidad depende de la energía que se disipa durante algún impacto

entre vehículos. Sin embargo, aunque no es posible eliminar el problema en su totalidad, se pueden llevar a cabo acciones que reduzcan las causas de dichos impactos. En el Estado de Texas se tiene un programa de reducción de accidentes, donde plantea una serie de acciones e infraestructura que ayudan a reducirlos. De acuerdo con estudios realizados (Hernández, et al. 1998), se establecen tres grandes puntos para el mejoramiento estos son: El control de tránsito en intersecciones, la infraestructura y la carretera con sus acotamientos.

Se han encontrado diversas maneras en que la infraestructura de los tramos carreteros están relacionados con diversos accidentes así que de manera general se puede vincular los datos de siniestralidad con la longitud y la operación de los vehículos obteniendo algunos indicadores que aunque en este nivel son prematuros, proporcionan un programa general (Cuevas, et al. 2011). En la Figura 5, se puede observar la comparativa de accidentes entre carreteras de dos y cuatro carriles junto a los accidentes generados en estas.

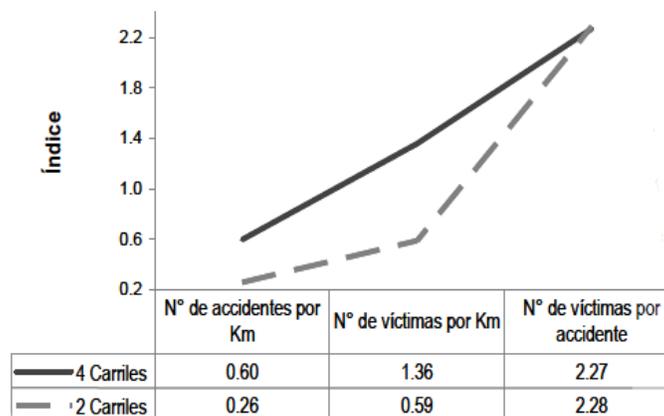


Figura 5. Índices de siniestralidad por número de carriles, (Cuevas, et al. 2011).

En los últimos años, las nuevas estrategias de gestión de seguridad se consideran al momento de planificar y diseñar una obra vial. Lo anterior es de utilidad al equipo del proyecto para identificar y controlar los peligros durante el diseño y la construcción de la vialidad. Sin embargo, el potencial de inseguridad influye y aumenta exponencialmente a medida que el proyecto se inicia. Investigaciones recientes han confirmado estos resultados e indica que los elementos del programa de seguridad más efectivos, ocurren durante las fases de programación y de diseño, como mencionan Esmaili & Hallowell (2013).

Accidentes significativos envueltos en la construcción de carreteras, ocurren frecuentemente debido a que los trabajadores están expuestos a diversos peligros, tanto del ambiente que los rodea como un pobre manejo de seguridad, como en Corea donde 2,181 trabajadores murieron en 2009 debido a accidentes

industriales, y 606 (27.7%) de ellos ocurrieron en la industria de la construcción. Tales accidentes muestran un alto número de fatalidades, con una fatalidad de 18.9 por cada 100,000 personas y en E. U. en 2009 también se obtuvo un promedio similar de 11.1 personas por cada 100,000 (Kim, et al. 2013). Por lo anterior, es necesario que en la planeación del proyecto se tomen en cuenta los factores que puedan no solo mejorar la seguridad en la operación de la carretera, sino también, de la seguridad durante la construcción de esta. A raíz de estos antecedentes de seguridad, una de las estrategias del Gobierno de México es construir vías más seguras para promover el desarrollo económico y social. Se ha estado llevando a cabo proyecto denominado International Road Assessment Programme (IRAP) que consiste en la inspección de alrededor de 45,000 km en todo el país” (Pérez, et al. 2013).

Conclusiones

Entre la planeación y puesta en servicio de una obra vial se requieren diferentes fases: Iniciando con la fase de planeación y desarrollo del proyecto. En estas se incluyen estudios de impacto ambiental y localización tales como las alternativas de trazo que estén relacionadas con la localización y negociación de afectaciones. Una vez liberado el derecho de vía de la obra vial se procede a su proyecto ejecutivo, el cual incluye tanto el proyecto geométrico vertical como horizontal. Por último la fase de construcción y operación. Es por eso que

el diseñador de hoy en día, cuenta con una gran cantidad de información por lo que siempre tiene que estar en contacto con los encargados de las otras fases. Siempre estando al pendiente de las directrices como son las normativas, los manuales y resultados de investigaciones.

Existe mucha información acumulada en México, que se mantiene en constante cambio y actualización, remarcándose siempre en el campo del diseño geométrico de autopistas pero gracias a las normativas y manuales de la

Secretaría de Comunicaciones y Transporte en conjunto con el Instituto Mexicano del Transporte, ayuda a los ingenieros de diseño de carreteras a desarrollar posibles alternativas de diseño para su mejoramiento y proporciona a los profesionales con herramientas analíticas mejoradas para una obra vial de calidad.

Otra de las conclusiones a las que se llegó con este trabajo es el hecho de que la accesibilidad siempre será un factor importante al momento de establecer un proyecto carretero, debido a la necesidad de

una extensa red de carreteras, modernas, de altas especificaciones y con el propósito de mejorar la integración de diversas regiones y núcleos de una zona cualquiera, esto como impulsoras importantes del desarrollo socio-económico y comercial de la Nación. Así una carretera bien planificada y diseñada no generaría lo que normalmente alberga grandes volúmenes de tránsito que pueden producir efectos indeseables cuando no se resuelve adecuadamente su integración física, en los puntos de conexión con el medio urbano.

Referencias

Arriaga, M., Garnica, P., & Rodríguez, A. 1998. Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. IMT Publicación Técnica No.108, pp. 1-57.

Cal y Mayor, R. & Cardenas J. 2007. Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones. México: Alfaomega.

Choi, J., Richard, T., Kim, S. 2013. Effects of changing highway design speed. Journal Of Advanced Transportation, pp. 239-246.

Cuevas, A., Mayoral, E., Mendoza, A. 2011. Definición de indicadores de seguridad vial en la red carretera federal. IMT Publicación Técnica No.345, pp. 1-133.

Esmaili, B., & Hallowell, M. 2013. Integration of safety risk data with highway. Construction Management and Economics, pp. 528-541.

Hernández, D., Chavarria, J., Téllez, R. 1998. Algunas consideraciones para implantar un programa de seguridad en carreteras. IMT Publicación Técnica No. 101, pp. 1-63.

Hernández, G. 1995. Evaluación económica de la pendiente gobernadora en carreteras. IMT Publicación Técnica No. 54, p. 1995.

Jha, M., & Kim, E. 2006. Highway Route Optimization Based on Accessibility. Journal Of Transportation Engineering, pp. 435-439.

Kim, Y., Ryoo, B., Kim, Y., & Chan, W. 2013. Major Accident Factors for Effective Safety Management. Journal Of Construction Engineering And Management, pp. 628-640.

Li, Y., Zhao, L., Dong, H. 2014. Design And Simulation Analysis Of At-Grade Intersection Channelization. Technical Gazette, pp. 995-999. Mendoza, A., Quintero, F., & Mayoral, E. 2002. Consideraciones de Seguridad para el Proyecto Geométrico de Carreteras. IMT Publicación Técnica No. 217, pp.1-76

Mendoza, A., Abarca, E., Mayoral, E., & Quintero, F. (2004). Recomendaciones de actualización de algunos elementos de proyecto geométrico para carreteras. IMT. Publicación Técnica No. 244, pp. 1-64.

Pérez, J., Abarca, E., & Mendoza, A. 2013. Proyecto de mejoramiento de un tramo carretero a partir de su evaluación con el modelo iRAP. IMT Publicación Técnica No. 389, pp. 1-146.

Rodríguez, A., Orozco, J., Téllez, R., & Pérez, A. 1990. Manual de calidad de los materiales

en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT Publicación Técnica No.1, pp. 1-27.

Rodríguez, A., Mendoza, A., & Mayoral, E. 1998. Consideraciones operativas de proyecto geométrico para vehículos de carga. IMT Publicación Técnica 106, pp. 1-79.

Solorio, J., Hernández, R., Montoya, M., & Cárdenas, S. 2013. Metodología para la elaboración de anteproyecto de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4. IMT Publicación Técnica No.375, pp. 1-114.

Solorio, J., Márquez, Z., Montoya, M., Cárdenas, S., & Hernández, R. 2014. Aplicación de métodos markovianos en el modelado del deterioro de carreteras. IMT Publicación Técnica No. 396, pp. 1-76.

Zhang, M., Li, B., Ding, J., & Shu, H. 2014. Research on the Mechanical Analysis of Weathered Rock Filling Subgrade. Journal of Digital Information Management, pp. 390-394.