

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

“Mejoramiento
geométrico de la ruta
cantonal 041
comprendida entre Dulce Nombre y
Paraíso de Cartago”



Mejoramiento Geométrico de la Ruta Cantonal 041 comprendida entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago

ALEX UREÑA ORTEGA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Proyecto de Graduación: Mejoramiento Geométrico, Drenajes Superficiales y Estructura de Pavimentos de la Ruta Cantonal 041 entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago.

Abstract

This project starts as a need of the municipalities of Cartago and Paraíso de Cartago due to the necessity of the geometric improvement of the cantonal road between Dulce Nombre and Paraíso de Cartago. This route was designated with the number 041, and it is going to decongest Paraíso de Cartago downtown which is now collapsed by the constant flow of heavy vehicles which mainly come from the Orosi Valley. In this valley, there are at least three concessions to extract material of river, plus all the lighter traffic from around this area. Thus it was possible to define this type of traffic flow for through the implementation of the criteria and technical specifications that govern our country achieve higher quality and provide safety to road users.

In addition to this purpose also is intended to provide adequate pedestrian infrastructure for the proper movement in the area, with the implementation of sidewalks with access ramps to them and in this way complies with the requirements legally established 7600. The purpose of improving the route involves not only vehicles and their occupants, if not to be a comprehensive solution to the current needs of the town, still provide for the development of the site and facilities can be projected to future, for this reason it was decided to provision of a cycleway which would include the connection from the intersection of National Route 224 (Orosi, Paraíso de Cartago), through the Laguna de Doña Ana and reaching Lankester Botanical Gardens, which are centers These tourist attractions in the area.

Resumen

El presente proyecto nace como una necesidad de las municipalidades de Cartago y Paraíso de Cartago. Este debido a necesidad del mejoramiento geométrico de la ruta cantonal comprendida entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago, designada con la numeración ruta 041, lo cual llevará al descongestionamiento del centro de Paraíso de Cartago el cual actualmente se ve colapsado tanto por el constante tráfico liviano proveniente del valle de Orosi, así como por el tráfico de vehículos pesados provenientes del mismo sector, en el cual se explotan al menos tres concesiones para extraer material de río. De esta forma se pretende definir el tipo de flujo vehicular presente, para mediante la implementación de los criterios y especificaciones técnicas que rigen en nuestro país, se logre brindar una mayor calidad y seguridad a los usuarios de la ruta.

Además, se pretende ofrecer a los peatones una infraestructura adecuada para movilización en la zona, mediante la implementación de aceras con rampas de acceso a las mismas.

El mejoramiento de esta ruta no involucra únicamente a los vehículos y sus ocupantes, sino que debe ser una solución integral a las necesidades presentes en la localidad, sin dejar de prever el desarrollo de la zona y las facilidades que se puedan proyectar a futuro. Por este motivo, se decide suministrar una ciclovía que comprendería la conexión desde la intersección de la ruta nacional 224 (Orosí-Paraíso de Cartago), que pasa por la Laguna de Doña Ana y que llega hasta el Jardín Botánico Lankester, los cuales son centros de interés turísticos en el lugar.

Contenido

Prefacio	1	Ciclo vías	18
Resumen Ejecutivo.....	2	Medianas	19
Introducción.....	4	Alineamiento horizontal	19
Marco Teórico	5	Derecho de Vía	15
Los Vehículos de Diseño.....	5	Radios Mínimos	15
Los Volúmenes de Tránsito.....	5	Curvas Horizontales de Transición	16
El Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA	6	Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales	17
El Tránsito de la Hora Pico o de Punta.....	6	Distancias de Visibilidad de Parada	17
El Factor de Hora Pico, FHP.....	6	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento....	18
La Composición del Tránsito	7	Carril de aceleración	19
Las Proyecciones de la Demanda de Tránsito....	7	Carril de deceleración.....	25
Las Velocidades.....	7	Sobrecanchos en Curvas	25
Velocidad de Operación.....	8	Alineamiento vertical	26
Velocidad de Diseño	8	Curvas Verticales en Cresta ó Convexa	26
Velocidad de Ruedo	8	Curvas en Columpios o Cóncavas	27
La Capacidad de la Carretera	9	Pozos de visita o registro.....	27
Los niveles de servicio.....	9	Tragantes	28
Los Peatones	10	Rejillas.....	28
Autopistas Regionales.....	10	Profundidad de la tubería.....	28
Troncales Suburbanas.....	16	Alcantarillas	29
Troncales Rurales.....	16	Canal abierto	30
Colectoras Suburbanas	16	Subrasante.....	30
Colectoras Rurales	16	Base	30
Los Carriles de Circulación	17	Sub base.....	26
El Ancho de Carriles	17	Capa superficial	26
Pendiente Transversal de los Carriles	17	Pavimentos flexibles.....	26
Espaldones	18	Pavimentos rígidos	26
Aceras.....	18		

METOLOGÍA	27
RESULTADOS	30
Diseño geométrico.....	35
Diseño hidrológico e hidráulico	38
Diseño Pavimento flexible primer tramo (2+300 - 4+998)	47
Diseño Pavimento flexible segundo tramo (0+000 - 2+300).....	51
Pavimento Rígido para primer tramo (2+300 - 4+998)	58
Pavimento Rígido para segundo tramo (0+000 - 2+300)	57
Pavimento semirrígido para primer tramo (2+300 - 4+998).....	57
Pavimento semirrígido para segundo tramo (0+000 - 2+300).....	59
Presupuestos.....	61
Análisis de resultados	65
Conclusiones	69
Recomendaciones	71
Epígrafe	72
Apendices.....	73
Anexos.....	133
Bibliografía	138

Prefacio

Este proyecto consiste en una aplicación de muchos conocimientos adquiridos a través de la formación académica, para el cual se aplicaron métodos de diseño fundamentados en literatura y normativa vigente en nuestro país (Costa Rica) como lo son el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, el Manual Centroamericano de Diseño de pavimentos y otras normativas como el caso del CR77 entre otras.

Los procesos de investigación y recopilación de datos que se utilizaron en este proyecto son diversas fuentes que indiscutiblemente evidencian los requerimientos o necesidades para los cuales debe ser enfocado el diseño, de forma tal que se logre proporcionar una alternativa a las exigencias evidenciadas en campo.

El planteamiento del diseño contempla un conjunto de parámetros que conducen al mejoramiento de la ruta cantonal comprendida entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago, entre los cuales destacan, la adecuada escogencia de las velocidades de diseño, dimensiones de vía, pendientes y el resto de complementos concernientes a un buen diseño.

Los adecuados desfuegos de aguas pluviales junto con el diseño de la estructura de pavimentos son otros de los aspectos contemplados en el proyecto y que complementan el conjunto de la propuesta para proporcionar la mejor opción respecto a las posibilidades que se presentan, de forma tal que se cumpla con los objetivos y requerimientos planteados inicialmente.

De esta manera, se llego a la conclusión del tipo de vía y sus respectivos componentes que deben ser empleados para proporcionar el mayor mejoramiento a la ruta en mención.

Destacando la participación comprometida por parte del personal de los

departamentos de diseño geométrico, planificación sectorial, pesos y dimensiones, contratación vial y laboratorio, todos del Ministerios de Obras Públicas y Transporte, por el aporte brindado. También a los entes municipales de Cartago y Paraíso de Cartago, por el apoyo y la información facilitada.

Resumen ejecutivo

El proyecto nace con la necesidad planteada por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte de realizar trabajos de mejoramientos de diseño en la ruta que comunica Dulce Nombre con Paraíso de Cartago designada con la numeración ruta 041, la cuál es una ruta cantonal importante en caso, que no se pueda transitar en la ruta nacional número diez y por lo cual es un medio de desahogo en el caso de un colapso en la ruta antes mencionada, la cual es el principal acceso a Paraíso de Cartago, así como a los consecuentes poblados después del mismo y viceversa.

Este mejoramiento consta, de un tramo de aproximadamente cinco kilómetros y daría como resultado el desahogo de las vías principales entre estas poblaciones, lo que llevará a mejorar el acceso a los usuarios de la localidad, cabe recalcar que la ruta conduce al botadero de basura ubicado en Cartago, por lo que agilizaría el tránsito hacia este botadero y evitaría el trasiego de estos vehículos por la ruta nacional número diez. Además este mejoramiento dará mayor seguridad y confort en aspectos de vialidad a los usuarios, al ser una ruta que actualmente se encuentra en malas condiciones para un adecuado tránsito.

En nuestro país el diseño de la infraestructura vial se basa en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, en el cuál se establecen los parámetros a seguir y considerar, dependiendo de las características y necesidades propias de cada proyecto. Para el proyecto propuesto, se está en presencia de una estructura con muchos años de vida útil que evidencia un deterioro debido al poco mantenimiento que se aplica en dicha vía, pero que además parece no haberse construido bajo buenas prácticas de diseño, por lo que en este momento y debido a las solicitudes de

tránsito actuales no cumple con las necesidades del usuario. Además, cada proyecto de diseño carretero es diferente a otro ya realizado, lo que garantiza que el profesional a cargo tenga que emplear todo su conocimiento para efectuar un proyecto de gran calidad, que brinde la seguridad y comodidad a los usuarios, cumpliendo con las especificaciones técnicas vigentes y manteniéndose en los rangos del presupuesto con que se cuente para dicho proyecto.

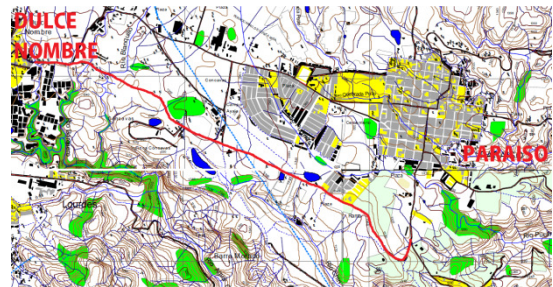


Figura 1. Tramo en diseño de la ruta cantonal 041 entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago. (Fuente: Centro de investigación Geoambiental).

El diseño geométrico se fundamenta en las especificaciones técnicas que establece el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, en el que se proponen los parámetros a seguir para un adecuado diseño horizontal y altimétrico que brinde las condiciones óptimas de capacidad de flujo vehicular, velocidades de diseño, radios de giro, anchos de carril, longitudes de curva, distancias de visibilidad, distancias de adelantamiento o cualquier otro aspecto que este estipulado en el manual o que el diseñador considere necesario. En base al TPDA proyectado al periodo de diseño y el tipo de topografía en el proyecto se logra clasificar la vía como troncal rural, la velocidad de diseño en base a las

posibilidades y características de la carretera se estableció en cuarenta y cincuenta kilómetros por hora, por lo que los radios de curva mínimos utilizados son de sesenta metros pero en la medida de lo posible se utilizaron radios de mayor longitud de manera que se diera una mejor propuesta de diseño.

Por otra parte, complementando el diseño geométrico, se deben de proponer las estructuras de drenaje que se requieran para satisfacer las demandas de caudales, para los cuales se diseñó el sistema de alcantarillado pluvial para el primer tramo de ruta de aproximadamente seiscientos metros mientras que para el resto del proyecto se analizaron y diseñaron los sistemas de drenaje mediante cunetas y alcantarillas de paso que conducen los caudales desde un punto hasta otro de menor elevación.

En el caso de las cunetas se emplearon únicamente dos secciones típicas que aunque superan las dimensiones demandadas por los caudales, constructivamente y por cuestiones de mantenimiento son más funcionales. Igualmente las alcantarillas en su mayoría requieren de un diámetro pequeño para cubrir la demanda de caudal, sin embargo por cuestiones de mantenimiento se decide establecer como mínimo un diámetro de ochenta centímetros.

El otro diseño contemplado en el mejoramiento de la ruta es el de pavimentos que se sustenta en la metodología estipulada en la guía de la AASHTO, donde se especifican los parámetros a seguir para el diseño de un pavimento flexible como también uno rígido, además, se propuso un diseño alternativo para un pavimento semirrígido, el cual sigue los métodos antes indicados pero con variaciones en sus consideraciones de distribución de carga. De manera que en base a los espesores de estructura como su costo se logró determinar la propuesta más conveniente, en este caso la de pavimento flexible.

Por último, se lograron determinar los costos asociados al mejoramiento de una forma muy global en base a los renglones de pago suministrados por el departamento de contratación vial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

Introducción

El diseño vial es un instrumento de desarrollo social y económico el cual pretende ofrecer a la sociedad mejores condiciones de transporte de esta manera el presente diseño presenta el mejoramiento geométrico horizontal y altimétrico, de drenajes superficiales, estructuras de pavimentos y obras necesarias para cumplir con las necesidades planteadas por parte de las Municipalidades tanto de Paraíso de Cartago como de Cartago, así como también los requerimientos que pudieron ser evidenciadas mediante las visitas a campo y a la interacción con vecinos de la zona.

El sentido de este mejoramiento nace a raíz de las malas condiciones geométricas y de drenajes así como de la inexistencia de una estructura de pavimento bien definida.

De esta forma se logró recopilar la información necesaria para poder iniciar con los parámetros de diseño, basados en la recolección de datos de campo, como lo son el conteo vehicular y datos obtenidos del departamento de planificación sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, para continuar con las proyecciones de demanda de tránsito para un periodo de diseño de veinte años. Una vez identificados los requerimientos del diseño se procede a la consulta al Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, el cual es la referencia vigente en Costa Rica, con el cual se define las características propias del diseño en base a las posibilidades con que se cuentan, además de realizar las consideraciones necesarias en base el tipo de zona y las restricciones que se encuentren para el diseño.

Por otra parte, el diseño de la estructura de pavimento está planteado en base al Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Pavimentos mediante el cual se sigue la metodología de la AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, flexibles y sirve como base en la estimación de

estructuras de pavimentos semirrígidos con la combinación de estas dos metodologías.

De esta manera se logra definir cuáles deben ser las características de la carretera con el fin de poder proporcionar una mejor funcionalidad a la vía y de este modo poder beneficiar con un buen diseño a los usuarios de la misma.

Las herramientas utilizadas son fundamentadas en sistemas doctrinales y prácticos como los manuales para cada uno de los diseños que se acoplan al sistema nacional, de esta forma al ser aplicados directamente al proyecto, por consecuente garantizan la funcionalidad de la carretera en proceso de mejoramiento.

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento de mi vida, a mis padres Roxana Ortega Ceciliano y Oscar Ureña Camacho y a mi novia Francini Navarro Jiménez, por el invaluable apoyo en mi carrera, con coraje, entusiasmo, constancia y valentía me han tendido la mano para poder triunfar en la vida.

Marco Teórico

Generalidades

Los Vehículos de Diseño

Los vehículos de diseño son los que determinan las exigencias propias para las cuales debe cumplir el diseño, pues dependiendo del tipo de tránsito serán planteadas las diferentes dimensiones y elementos que conformen la estructura vial, de este modo el análisis previo a la escogencia de las premisas de diseño es fundamental para la determinación del resto de componentes que forman la estructura vial.

“Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. De cada tipo de vehículo utilizado para diseño, se seleccionan a propósito para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos de mayores dimensiones físicas y de radios de giro mayores dentro de su clasificación tipológica”¹.

En nuestro país (Costa Rica) las especificaciones sobre caracterización de los diferentes automotores esta normado por parte del departamento de pesos y dimensiones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes del cual establece la reglamentación, así como condiciones de transitabilidad bajo las cuales deben regirse los vehículos en nuestro país.

De esta forma se establecen las diferentes clasificaciones de tipo de vehículo entre las cuales destaca los vehículos livianos en un primer plano, los cuales representan la mayor cantidad de vehículos que circulan por las vías e incluye automóviles compactos y subcompactos, los jeeps, las camionetas agrícolas y los pick-ups, mientras que por otra parte los vehículos pesados en menor presencia de flujos de tránsito en las carreteras, tienen diferentes clasificaciones dependiendo de la cantidad y distribución de ejes según su uso o capacidad de carga.

Los Volúmenes de Tránsito

La cantidad como secuencia de flujos de tránsitos deben de ser identificados mediante diferentes herramientas que proporcionan información pertinente para la adecuada escogencia de los parámetros de diseño, de forma tal que se puedan realizar las consideraciones pertinentes respecto a los requerimientos que se demarcan con los estudios pertinentes como lo son los de origen destino y los conteos vehiculares constantes que determinan tránsitos promedios a través del tiempo. Por tanto el buen diseño de una carretera únicamente puede lograrse mediante la implementación de estos estudios, además mediante observación y consulta puede definirse una adecuada proyección de la demanda futura, en la cual el diseño debe mantenerse vigente para el periodo de tiempo que se plantea inicialmente.

Esta visión de demanda de tránsito hace que se maneje una incertidumbre muy elevada si no se observan los diferentes factores que intervienen directa o indirectamente el diseño y que pueden cambiar las consideraciones iniciales, haciendo que el diseño planteado no vaya a ser tan eficiente como se propone en primera instancia.

“La medición de los volúmenes del flujo vehicular se obtiene normalmente y a veces de

¹ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-2p.

manera sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en las propias carreteras, lo mismo que mediante investigaciones de Origen y Destino (O/D) que, dependiendo de la metodología utilizada, arrojarán datos sobre la estructura, distribución, naturaleza y modalidad de los viajes².

El Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA

El diseño geométrico de carreteras esta directamente asociado a la cantidad de vehículos que circulan diariamente, a si como también a los tipos de vehículos y las respectivas cargas que transporten, por lo que es de vital importancia para la buena escogencia de las estructuras a proponer, que se dé un adecuado análisis de estos factores con el fin obtener datos reales que puedan ser utilizados adecuadamente al diseño y de esta forma cubrir las necesidades para el periodo de diseño proyectado.

“Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición³.”

De este modo el tránsito promedio diario anual junto con las características propias de la zona como lo son la topografía, crecimiento demográfico o tipos de producción a las que se dedica la zona son los factores que determinan la forma y características que deben ser empleados para satisfacer los requerimientos que estos factores arrojan.

En Costa Rica, el ente encargado de realizar y mantener actualizados los datos de conteos vehiculares es el departamento de

² Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-5p.

³ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-7p.

planificación sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el cual se encarga de la realización de conteos de tránsito para la red vial nacional, en el caso de rutas nacionales y mediante estos la obtención de tránsitos promedios diario anuales para en diferentes estaciones de conteo a lo largo de estas rutas.

El Tránsito de la Hora Pico o de Punta

Al trabajar con datos de TPDA se debe considerar que este es un dato muy genérico, pues las variaciones en la intensidad de tránsito a lo largo de un día son muy considerables, por lo que el simple promedio de los flujos de tránsito no reflejan volúmenes muy elevados que se presentan en las horas pico u horas de mayor demanda de transitabilidad. De este modo se debe de considerar que el diseño no puede estar enfocado al flujo vehicular en la máxima demanda de tránsito pues se incurriría en costos muy elevados para construir vías que mantendrían flujos vehiculares bajos en relación a su capacidad, pero el diseño debe considerar que tampoco debe realizarse para los datos promedio de TPDA, si no a una hora intermedia que pueda abarcar un grado de tolerancia para demandas horarias extremas y sin incurrir en sobre diseños.

“El volumen de tránsito de la hora pico o 30HD se sitúa normalmente entre 12 y 18 por ciento del TPDA en el caso de las carreteras rurales, con un término medio bastante representativo de 15 por ciento de dicho TPDA. En carreteras urbanas, este volumen se ubica entre 8 y 12 por ciento del TPDA, por lo que es válida la práctica de utilizar un 10 por ciento del TPDA como valor de diseño, a falta de factores propios obtenidos de las investigaciones de tránsito⁴.”

El Factor de Hora Pico, FHP

Este factor es el porcentaje que se obtiene al dividir la cuarta parte del valor de la trigésima hora de diseño o tránsito de la hora pico entre el valor mayor de volumen vehicular en quince

⁴ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-8p.

minutos de la trigésima hora de diseño. Por tanto al afectar los volúmenes horarios por este factor se asumen las condiciones más exigentes de la demanda, a las cuales debe responder la propuesta de solución de reconstrucción, mejoramiento o ampliación de una carretera determinada.

La Composición del Tránsito

La composición de tránsito está asociado al tipo de zona en la que se esté realizando el diseño, pues está dado por la localización y el tipo de vehículos que más incidan o interactúen en la vía, de manera que es indispensable el análisis de los tipos de vehículos que transitan y su relevancia porcentual en las consideraciones de diseño geométrico, como de espesores en las estructuras pavimentos que representen para la carretera.

Considerando que los vehículos pesados según el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales son vehículos con un peso bruto mayor o igual a cuatro toneladas además de los que presentan llantas dobles en el eje trasero representan equivalencias de varios vehículos pesados, aumentando esta relación a medida que aumentan las pendientes en la vía como también en la medida que disminuyan las distancias de visibilidad de parada y que hacen más difícil la transitabilidad de los mismos.

Las Proyecciones de la Demanda de Tránsito

“En las carreteras regionales se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como la base para el diseño, aunque igualmente se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se puede reducir dicho horizonte a un máximo de diez años”⁵.

El hecho de emplear proyecciones de demanda de tránsito en periodos de diseño mayores a veinte años hace que se pueda incurrir en errores de estimación considerando que para periodos superiores, las posibles variaciones demográficas, productivas u organizativas de la

⁵ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-11p.

zona puedan cambiar notablemente a lo planteado inicialmente, con lo que llevaría a tener en el mejor d los casos vías sobre diseñadas o por el contrario, vías que estén colapsadas por una mala proyección de demanda de tránsito debido a la poca certeza que se posee del comportamiento de la zona a través del tiempo.

La determinación de las demandas de tránsito al largo plazo puede realizarse mediante varias maneras, en las que destacan la utilización de software que requiere estudios complejos y constantes de diferentes características y comportamiento de la zona en periodos de tiempo dados por lo que se convierten en herramientas con baja incertidumbre pero con utilización de recursos elevados, por otra parte se encuentran medios más simples que se basan en la observación del comportamiento de los flujos vehiculares a través del paso de tiempo mediante conteos vehiculares y en los cuales se ven las variaciones porcentuales de los flujos para de esta forma realizar una proyección aproximada según los datos recopilados.

Con estos criterios se busca establecer relaciones razonables de tipo estadístico entre el comportamiento del tránsito mediante indicadores socioeconómicos, incidencia en el transporte automotor, registros de consumo de combustibles en el transporte, así como el crecimiento de la población económicamente activa, de manera que se admitan obtener proyecciones aceptables acerca de los futuros volúmenes de tránsito por las carreteras.

Las Velocidades

La velocidad en una vía va de la mano con diferentes factores que se interrelacionan para dar parámetros bajo los cuales se transita en la carretera, entre ellos destacan las condiciones climáticas de la zona o condiciones particulares en diferentes estaciones climáticas, límites vigentes de velocidad en la vía, características físicas de la carretera como lo son el caso de la rugosidad presente la estructura de rodadura, los radios de giro, longitudes en curvas verticales, entre otras.

Además otro factor relevante a considerar es la incidencia que tengan otros vehículos en la vía, los cuales pueden causar restricciones de transitabilidad, disminución de confort o molestias que afecten los flujos vehiculares. De este modo la incidencia de vehículos en particular como lo son los autobuses, camiones de carga pesada, o

equipo agrícola entre otros, pueden ser causantes de colapso vial si no se consideran preliminarmente la afectación en la que puedan incurrir los mismos.

De este modo la relevancia que tiene la velocidad en la escogencia de una ruta por parte del conductor esta directamente asociado a los tiempos de recorrido, costos asociados al viaje, así como también la interacción con usuarios de vehículos así como con peatones.

Por tanto el diseño, en todo caso, busca satisfacer juiciosamente los requerimientos de los usuarios en lo relativo a velocidades, bajo condiciones de seguridad y economía en las operaciones, sin exagerar en extremos para beneficiar a usuarios que soliciten mayores velocidades en las cuales no es prudente incurrir.

Velocidad de Operación

El concepto de la velocidad de operación se define como la máxima velocidad a la que se puede transitar por una vía, bajo condiciones climáticas favorables, flujos vehiculares que no restrinjan las condiciones de tránsito. Sin embargo esta velocidad de operación de debe exceder en ningún momento los límites de velocidad estipulados e indicados en el diseño, de forma tal que prevalezca la seguridad en el sistema vial en todos las secciones del sistema vial.

Velocidad de Diseño

“La velocidad de diseño, también conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser mantenida en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado”⁶.

Considerando que las vías deben ser diseñadas para proporcionar la mayor seguridad, confort, y cumpla con las necesidades exigidas por los usuarios peor manteniendo al mismo tiempo la normativa y parámetros permitidos para el buen funcionamiento de la carretera, se debe proporcionar la mayor velocidad posible, sin dejar

de considerar los aspectos ya mencionados anteriormente de manera tal que la funcionalidad como seguridad para los usuarios se cumpla a cabalidad en la vía.

Para Centroamérica se recomienda que el límite superior para velocidades de diseño no deba exceder los ciento diez kilómetros por hora para autopistas, vías expresas así como también para algunas carreteras troncales, siempre y cuando se tengan condiciones ambientales, topográficas y operativas favorables en donde no se incurra en situaciones anómalas a una adecuada transitabilidad.

También se establece que en las clasificaciones inferiores de vías se mantengan límites o restricciones graduales de velocidad a medida que se considere necesario, basado en las condiciones topográficas, climáticas, incidencia peatonal u cualquier otro factor que obligue a restringir las velocidades hasta límites prácticos y razonables. Estableciendo límites de velocidad de en zonas con incidencia urbana pueden llegar ubicarse en rangos entre los veinte cinco y cuarenta kilómetros por hora según sea necesario.

De este modo la velocidad de diseño es factor que determina el resto de parámetros que comprenden la estructura de la carretera, entre los que destacan principalmente los radios de giro, longitudes de curvas verticales, peraltes en curvas, distancias de visibilidad, entre otros, los cuales brindan características particulares a cada diseño.

Considerando también que aunque elementos como espaldones, drenajes, anchos de carriles, muros, estructuras de retención u otros elementos incluidos en el diseño deben ser diseñados acorde a las velocidades de diseño estipuladas, de manera que a mayores velocidades, se deben realizar mejoras en el diseño de estos elementos. Además la escogencia de las velocidades de diseño se rige por aspectos como lo son las condiciones del terreno (plano, ondulado, montañoso), tipo de área (rural o urbana), condiciones ambientales, y los volúmenes de tránsito proyectados al periodo de diseño en base a consideraciones de crecimiento de demanda vehicular a través del tiempo.

Velocidad de Ruedo

Este concepto está asociado directamente a la distancia recorrida por un vehículo en un tramo de carretera en un tiempo efectivo de ruedo del vehículo, en el cuál el flujo debe ser constante

⁶ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-13p.

y sin paradas a lo largo del trayecto. Esta velocidad puede ser calculada mediante la aplicación de conocidos procedimientos de la ingeniería de tránsito para el cálculo de velocidades instantáneas promedios en puntos específicos de un tramo de vía.

Teniendo estos conceptos claros se puede deducir que para flujos vehiculares de bajo volumen, la velocidad de ruedo llega a un valor muy cercano a la velocidad de diseño, pues la inferencia de otros vehículos es muy baja y por consecuente se logran velocidades de ruedo muy estables. Por otra parte, a mayor incidencia de volúmenes de tránsito mayor, la probabilidad de que haya fricción en la corriente vehicular aumenta y el sistema es más sensible a cualquier afectación, lo que podría acarrear pérdida de confort a los usuarios, congestionamientos o simplemente ansiedad a los usuarios, que se convierten en colapso del sistema vial.

La Capacidad de la Carretera

La capacidad de la carretera está formada por la relación que existe entre el volumen vehicular de diseño proyectado al periodo de diseño o también llamada demanda de tránsito, mientras que el otro factor es la oferta, es la capacidad que proporciona la carretera máximo volumen vehicular que puede trasegar la vía de una manera segura y estable.

De esta forma la determinación de la capacidad es de vital importancia para el adecuado diseño de una vía, pues mediante esta capacidad es que se logra escoger las dimensiones de los elementos que conforman la estructura vial. También es importante el constante monitoreo de la situación de las redes existentes, analizando la situación vigente respecto a sus capacidades para la eventual determinación de inversión, tanto a corto como a largo plazo, de manera que no se llegue a niveles de servicio muy bajos que conlleven al colapso del sistema.

La capacidad de la carretera está determinada por el flujo vehicular máximo que se obtiene cuando la densidad vehicular es crítica, en este punto el flujo se convierte en inestable y cualquier afectación puede llevar a colapsos de la vía, por este motivo las opciones de maniobra están muy restringidas para los usuarios, lo que puede causar desconfianza y ansiedad, además la transitabilidad se vuelve difícil con flujos forzados y con interrupciones.

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales se establece que en condiciones ideales las autopistas tienen una capacidad de dos mil automóviles por carril por hora, en carreteras de dos carriles se pueden alcanzar flujos vehiculares de hasta dos mil ochocientos automóviles por hora en ambos sentidos, mientras que la capacidad de una carretera urbana está en función de la capacidad de sus intersecciones. Cabe considerar que estos valores son planteados bajo situaciones ideales, en donde la incidencia peatonal, de vehículos pesados o interferencia lateral de otros vehículos es nula, además que los componentes de la vía deben ser acorde a un buen diseño, con dimensiones de carril, espaldón, distancias de visibilidad y velocidades de diseño apropiadas para un adecuado trasiego por la vía.

Los niveles de servicio

Los niveles deben ser escogidos de manera tal que los volúmenes de tránsito no superen la capacidad y se eviten congestionamientos viales, definiendo este término, no como un flujo paralizado en tramos de tiempo, sino que está más relacionado a la disminución de libertad de maniobrar, fricción entre los vehículos y la pérdida gradual de la calidad del flujo.

“El conocido Manual de Capacidades de Carreteras establece seis niveles de servicio, identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, con una relación volumen/capacidad del orden de 0.35 para las autopistas, mientras que al nivel de servicio F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía o de sus componentes esenciales, como decir las rampas y las secciones para entrecruzamientos”⁷.

Tal como se presenta en el cuadro 1.

⁷ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 2c-15p.

Cuadro 1. Característica de los niveles de servicio. (Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales)

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de "pare y siga", congestión de tránsito.

El diseño se fundamenta en la escogencia del adecuado nivel de servicio según sean los requerimientos y posibilidades para cada proyecto, de modo que la escogencia de un determinado nivel de servicio lleva a la obtención de flujo vehicular de diseño, el cual al ser excedido, de la misma forma el nivel escogido se ve desmejorado y las condiciones operativas cambian respecto a lo planteado inicialmente en el diseño, por lo que habrá que replantear el diseño de forma que se logre establecer nuevamente los niveles de servicio requeridos.

El cuadro 1 del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales muestra una posible combinación de parámetros que conducen a la determinación de un nivel de servicio aceptable para las condiciones a nivel centroamericano, que aunque no son las mayores en su escala, se acoplan adecuadamente a los requerimientos y posibilidades presentes en la zona.

Cuadro 2: Guía para seleccionar el Nivel de Servicio para Diseño. (Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales)

Tipo de carretera	Tipo de Área y Nivel de Servicio Apropriado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural montañoso	Urbano Suburbano
Autopista especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Los Peatones

La función del sistema vial no involucra únicamente a los usuarios que hacen uso de vehículos automotores, sino que está asociado a una serie de complementos que hacen al sistema un medio de comunicación indispensable para el desarrollo de las sociedades, por lo que la finalidad es indiscutiblemente poder habilitar la interacción entre los usuarios, entre los cuales destacan los peatones y ciclistas, quienes por su situación poco comparable con la del usuarios con vehículos, pues el nivel de vulnerabilidad respecto a los vehículos es claramente mayor.

Esta desventaja respecto a velocidades de desplazamiento y susceptibilidad a sufrir algún accidente, hace que sea de vital importancia acondicionar con todos los elementos necesarios para poder garantizar a estos usuarios de la infraestructura requerida para mantener la integridad de los mismos. Por este motivo, se debe de realizar un estudio pertinente, a manera de poder definir los volúmenes que alcancen estos dos tipos de usuarios de modo que se proporcione de las facilidades y separaciones físicas necesarias para evitar conflictos con los vehículos.

Considerando que el peatón es el usuario que se desplaza a pie, y que la densidad de su presencia es mayor en vías urbanas versus las rurales, los requerimientos entre uno y otro tipo de zona evidentemente varían según su situación.

Por estos motivos la relevancia de la capacitación en temas de educación vial para la población en general y el adecuado diseño de elementos que brinden funcionalidad y seguridad tanto a los peatones como a ciclistas son factores que no deben ser descuidadas si se quiere otorgar sistemas viales completos y con características que se ajusten a las exigencias del conjunto.

Autopistas Regionales

Esta denominación debe ser utilizada en el diseño de carreteras que tiene un flujo de al menos veinte mil vehículos promedio por día, el cual generalmente está ubicado en entornos suburbanos en donde se da principalmente la salida desde las principales ciudades o para la implementación de anillos de circunvalación que proporcionen entrada y salida los principales centros de población.

En este tipo de vías se debe de proporcionar prioridad al sentido de vehículos de paso, mientras que los accesos o entronques a la carretera deben de quedar en segundo plano por la importancia que presentan estas vías para el transporte de mercancías principalmente, sin embargo en casos muy especiales se puede realizar un control parcial de los accesos de forma que facilite la continuidad de flujos en lugares de mucha relevancia. Además las paradas de transporte público no deben de ser permitidas en este tipo de vías y más bien se debe de proveer de calles paralelas al proyecto que cumplan con esta función de manera que no se interrumpa el flujo de las autopistas.

Para este tipo de carreteras es indispensable la implementación de zonas de cruce para los peatones, las cuales deben de ser construidas a desnivel, sobre o por debajo de la autopista de manera tal que no haya un conflicto directo entre peatones y automóviles. También debe considerarse que las exigencias que se establecen en este tipo de vías, debe ser tal que proporcionen la capacidad de carga demandada por los flujos de tránsito.

Troncales Suburbanas

Este tipo de carreteras comprenden los diseños de vías que tiene una proyección de demanda de tránsito entre diez mil y veinte mil vehículos promedio diario. Son las conexiones directas a las vías de circulación rápida como lo son las autopistas.

Su funcionamiento es altamente incrementado cuando se posee de calles marginales que le proporcionan mayor fluidez al sistema, además en este tipo de carreteras se permite la implementación de paradas de autobuses mediante bahías que afecten lo menor posible el flujo vehicular y proporcionen seguridad a los usuarios.

Troncales Rurales

Estas vías constituyen la clasificación de mayor significación en la red vial regional centroamericana, esta es muy variable en cuanto a la distribución de flujos vehiculares a través de día, con valores de hasta veinte mil vehículos promedio por día o con mínimos de hasta quinientos vehículos por día promedio, por lo que

en algunos de los casos será necesario la ampliación a cuatro carriles de manera que se proporcione de la capacidad necesaria.

Las paradas de autobuses son necesarias a lo largo de la carretera situados en los sitios con abundancia de peatones e igualmente deben ser demarcados los pasos peatonales a nivel de la vía.

Los cruces con flujo peatonal y vehicular considerablemente alto deben ser provistos de semáforos de tiempo fijo o canalizadas, mientras que en sectores con poca influencia de los mismos se debe de proporcionar el adecuado señalamiento vertical.

Colectoras Suburbanas

Este tipo de carretera es capaz de soportar tránsitos vehiculares con un límite superior de diez mil vehículos promedio por día, cumpliendo como función principal la conexión a vías urbanas y dando acceso a terrenos, propiedades colindantes o otros en los que los flujos vehiculares pueden ser bajos. Por el flujo vehicular que debe contener este tipo de vía, la sección transversal típica debe de ser de entre dos y cuatro carriles en ambos sentidos.

También podrán contener estacionamientos en el carril derecho de circulación de forma que den opción de contener vehículos que requieran estacionamiento. Las intersecciones serán a nivel con señalamiento vertical y demarcación horizontal que facilite el cruce peatonal, y únicamente serán colocados sistemas de semáforos en donde el flujo vehicular y de paso peatonal sea considerablemente elevado.

Colectoras Rurales

Este tipo de carreteras debe ser diseñado cuando los rangos de movimiento vehicular son muy bajos, sirve como alimentador de las vías troncales y colectoras suburbanas, la capacidad de movimiento vehicular esta en un rango de quinientos a diez mil vehículos promedio por día. Además la separación de tránsito en los dos sentidos se realiza mediante la demarcación horizontal en el pavimento, se deben colocar paradas de autobuses tanto como sea necesario y pueden necesitar bahías o no, dependiendo de los volúmenes de tránsito presentes.

Los cruces peatonales deben ser dispuestos de señalización necesaria para dar seguridad a los peatones, ya sea con señalamiento vertical así como también con demarcación horizontal en el pavimento.

Además puede considerarse únicamente un tratamiento superficial para la estructura de pavimento en el caso en que la demanda de tránsito no lo requiera y únicamente se requiera dar una protección a las capas estructurales del pavimento.

Los Carriles de Circulación

La distribución de los carriles es variable según sean las necesidades como posibilidades que se tengan, pero como mínimo se debe proveer de un carril cada en cada sentido y la separación de estos debe ser acorde al tipo de carreta que se diseñe, ya sea por medio de líneas de demarcación horizontal, medianeras, islas o tramos de zona verde capaz de delimitar el sentido del flujo, de forma tal que proporcione a los usuarios de la infraestructura y de los elementos que brinden seguridad a los usuarios siendo lo más funcional y agradablemente posible.

“Se debe tomar nota que el carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras”⁸.

También debe diseñarse los carriles de circulación de forma tal que se ofrezca al usuario una superficie plana y sin irregularidades, capaz de evitar el deslizamiento y con capacidad para poder transitar bajo cualquier condición climática. Además es destacable enunciar que la inexistencia de espaldones reduce considerablemente la capacidad de la carreta pues se provoca un efecto de desconfianza y restricción de tránsito que hace disminuir la velocidad a los conductores, lo que indica claramente que al no dotar de estos elementos crea mayores posibilidades de incurrir en colapso del sistema y accidentes de tránsito.

⁸ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES**. Guatemala. 4c-4p.

El Ancho de Carriles

Este parámetro determina en gran medida las características y funcionalidad de la carretera que se diseñe, pues según su dimensión así será el grado real en la capacidad que presente la vía, siendo el ancho de carril junto con otros elementos quienes ofrecen en mayor o menor medida el nivel de confort al usuario. Esta dimensión está directamente asociada al tipo de tránsito que se presente en la vía, ya sean vehículos livianos, autobuses o camiones de carga pesada, quienes son en gran medida los paramearos al definir esta dimensión.

A nivel centroamericano se considera que un ancho de carril de 3.6m es el ideal para el adecuado y cómodo traslado de los usuarios, sin embargo este valor puede ser disminuido hasta valores de 2.7 m de ancho para carriles de caminos rurales de poco tránsito. Además en carriles de aceleración como de desaceleración deben de cumplir como mínimo con una dimensión de al menos 3.3 m de ancho.

De este modo la posibilidad de ofrecer dimensiones lo mayormente aceptables para el diseño, hace que las condiciones de transitabilidad sean mejoradas notoriamente.

Pendiente Transversal de los Carriles

El bombeo o pendiente transversal de una carretera de dos carriles será de al menos dos por ciento del centro de la calle hasta el borde de la misma, de forma que se logre proporcionar un desfogue adecuado de las aguas pluviales, así como también el evitar la acumulación de materiales en el centro de la calzada. El incremento del número de carriles debe ser proporcionalmente incrementado con al menos 0.5 por ciento del bombeo para poder ofrecer igualmente mayor velocidad de salida al agua. En lugares en donde la intensidad de lluvia es considerablemente grande el bombeo puede ser de dos y medio por ciento e igualmente debe ser incrementado este porcentaje en 0.5 por ciento a medida que se añaden carriles, esto sin sobrepasar un máximo de cuatro por ciento de pendiente transversal ya que aunque puede ser funcional para el sistema de drenaje, también puede ser incomodo para la conducción vehicular.

Espaldones

Los espaldones son los tramos de carretera ubicados al costado externo de los carriles exteriores, pueden tener como capa de rodadura carpeta asfáltica, concreto hidráulico o simplemente estar formado por material granular. Su función principal es ofrecer a los usuarios de un área que sirva como protección en caso de un desperfecto mecánico o alguna situación que implique el hecho de detener el vehículo, además proporciona un área que garantiza seguridad y confort al usuario.

También cumple la función de dar estabilidad estructural a la estructura de pavimento por medio del otorgamiento de confinamiento a la vía, así como también, el proporcionar de un espacio capaz de almacenar el señalamiento vertical, además debe de tratar de mantener la continuidad de los espaldones a lo largo de toda la carretera y en el caso que no sea posible, se deben de instalar barreras de seguridad.

A continuación se presentan las dimensiones planteadas en el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales para espaldones según el tipo de carretera.

Cuadro 3. Anchos mínimos de espaldones y aceras. (Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales)

Tipo de carretera	Acceso	Tipo de superficie	Ancho de hombros (m)		Ancho de aceras (m)
			internos	externos	
AR Autopista Regional	Controlado	Alto	1.0-1.5	1.8-2.5	-
TS Troncal suburbana	Controlado	Alto	1.0-1.5	1.8-2.5	1.2-2.0
TR Troncal rural	-	Alto	0.5-1.0	1.2-1.8	1.2-1.5
CS Colectora suburbana	-	Intermedio	0.5	1.2-1.5	1.0-1.2
CR Colectora rural	-	Intermedio	-	1.2-1.5	1.0-1.2

Aceras

La aplicación de este concepto es fácilmente aplicable a diseños viales, pues tanto la función como la necesidad que cumplen estos elementos son primordiales principalmente cuando la interacción peatonal, volúmenes de tránsito y

deficiencia en espaldones, hacen que sea inminente el diseño de las mismas.

Las aceras son elementos que brindan esencialmente el flujo de personas a través del sistema vial manteniendo una separación pertinente con los vehículos, para de esta forma proporcionar seguridad a los elementos que se encuentran evidentemente en desventaja quienes son los peatones.

Las dimensiones planteadas por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales establece valores entre 1.2m y 2.0m según sea los requerimientos de la vía, tal como se presenta en el cuadro 3.

Ciclovías

Ese componente vial es aplicable en zonas donde la demanda y características del terreno determinan la funcionalidad de las mismas.

“Ciclorutas se definen como, Corredores alternos a la calzada vial, cuya utilización permite desarrollar el concepto de bicicleta como medio de transporte alternativo”⁹.

“Se define como Red para circulación de bicis”¹⁰

Según el manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control de tránsito del SIECA define a las ciclovías como cualquier medio de camino, calle o paso que está designado específicamente para el viaje de ciclistas. Además se establece que esta senda restringe el paso de vehículos automotores, siempre manteniendo una separación razonable entre la misma y la calzada de manera que brinde seguridad a los usuarios., mientras que puede estar compartido por peatones y bicicletas, siempre y cuando sea proporcionada por límites de velocidad, así como también de señalización que garantice la integridad de quienes hacen uso de ellas.

⁹Alpizar, A. 2005. **METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CICLOVÍAS EN ÁMBITO INTERURBANO: APLICACIÓN EN EL TRAMO INTERAMERICANA – EL ROBLE – CALDERA DE LA CARRETERA COSTANERA SUR.** Tesis final de graduación. Universidad Latina de Costa Rica. Costa Rica.

¹⁰Araya, L. 2003. **EL MANUAL DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO DE CHILE.** Grafic Suisse. Chile. 35p

Medianas

Este elemento consiste en una franja de terreno comprendida entre los dos carriles de sentido contrario en carreras divididas, esta sección puede estar sobre el nivel de la carretera como se muestra en la figura 2 o bajo este nivel como se muestra en la figura 3, siendo el segundo caso el más conveniente por su aporte al sistema de drenaje de la vía.

En el caso de medianas bajo nivel de la carretera se debe garantizar que los tragantes de drenaje estén a nivel de suelo y protegidos con algún tipo de estructura tipo parrillas para de este modo no sean un peligro en caso de salida de un vehículo descarrilado hasta este sector.

Entre sus principales funciones destaca el hecho de ser separadores físicos de flujos vehiculares en sentidos contrarios, evitar el deslumbramiento de los conductores en la noche, poder mantener un espacio previsto para ampliaciones futuras, formar espacios de drenaje para la vía, dar un mejor entorno visual a la carretera, fomentando el uso de áreas verdes o espacio inclusive de movimiento peatonal.

De este modo se debe tratar de implementar el uso de medianas haciendo uso de las dimensiones mínimas propuestas por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales tal como se presenta en el cuadro 4.

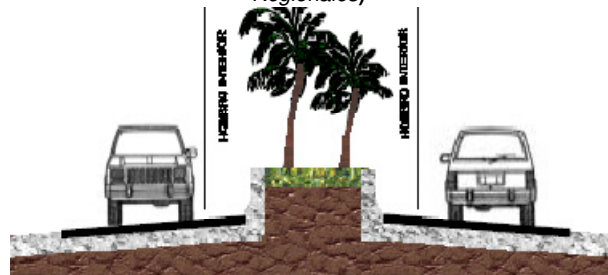
Cuadro 4: Anchos de medianas recomendables para las carreteras de la red vial regional (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

Tipo	Clasificación	Ancho de mediana (m)
AR	Autopistas Regionales	4-12
TS	Troncales Suburbanas	4-10
TR	Troncales Rurales	2-6
CS	Colectoras Suburbanas	Sin mediana
CR	Colectoras Rurales	Sin mediana



MEDIANA CON CUNETA

Figura 2. Mediana con cuneta. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)



MEDIANA ELEVADA

Figura 3. Mediana elevada. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal de carreteras está enfocado en dar elementos con las características adecuadas para dar seguridad y facilidad de maniobra a los usuarios mediante la implementación de parámetros que rijan las velocidades de diseño así como también para poder cubrir la demanda de tránsito presente en la vía.

El diseño de curvas horizontales debe estar enfocado a dar facilidad de tránsito vehicular mediante adecuados radios de curvatura y peraltes que logren contrarrestar efectos de fuerza centrífuga y centrípeta a los vehículos. Además, factores como la fricción que provoque la superficie de rodadura, junto con transiciones tangente-curva conocidas con el nombre de espirales, deben de ser consideradas en los diseños de manera que se pueda definir correctamente las condiciones a regir en el diseño.

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales se enuncia la ecuación que relaciona todos estos factores de manera que se logre definir algún parámetro en términos de los que se poseen tal como se presenta en la ecuación 1.

$$e + f = V_2 / 127 R$$

Ecuación 1. Factores de diseño de curvas horizontales.

En donde:

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

v: Velocidad de diseño, (km/h)

R: Radio de curva, (m)

Derecho de Vía

“El derecho de vía es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño bien balanceado de las calzadas con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional”¹¹.

Radios Mínimos

Los radios mínimos de curvatura son los mínimos valores permitidos para el buen transitar bajo una velocidad de diseño dada, de este modo los radios de giro pueden restringir o incrementar la velocidad de ruedo en la medida que se aumenten o disminuyan sus dimensiones, además estos radios pueden ser variados para una misma situación bajo variaciones en factores de sobreelevación o de fricción según las necesidades y posibilidades propias de la sección.

Sin embargo, cuando se aumentan las sobreelevaciones en una curva para proporcionar mayor restricción a la fuerza centrífuga, también se aumenta el grado de incomodidad de los usuarios debido a la sensación de vuelco que se da cuando los peraltes son muy elevados y la velocidad de ruedo es muy baja.

Por otra parte aunque los valores del factor de fricción pueden considerarse variables según la calidad de la capas de rodadura estos valores no deben tomar valores muy elevados respecto a los promedios, pues bajo condiciones

anómalas especiales como la presencia de agua, arena u otro tipo de material hacen que las condiciones de fricción no sean las ideales y se puedan dar situaciones de deslizamientos y poca adherencia a la estructura.

El valor del radio mínimo de curvatura para curvas horizontales según el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales puede ser calculado mediante la ecuación 2.

$$R = v^2 / (127(e + f))$$

Ecuación 2. Cálculo de radio de giro.

En donde:

R: Radio mínimo de curva, (m)

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

v: Velocidad de diseño, (km/h)

Además este valor puede ser obtenido mediante la tabla resumen que igualmente presenta el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales, según el factor de fricción máximo permitido, velocidad de diseño y sobreelevación escogida tal y como se presenta en la figura 4.

¹¹ Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES.** Guatemala. 4c-77p.

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de	Radio (m)		Grado de
		Calculado	Recomendado	Curva	Calculado	Recomendado	Curva
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8%			Peralte máximo 10%		
		Radio (m)		Grado de	Radio (m)		Grado de
		Calculado	Recomendado	Curva	Calculado	Recomendado	Curva
30	0.17	28.3	30	38° 12'	26.2	25	45° 50'
40	0.17	50.4	50	22° 55'	46.7	45	25° 28'
50	0.16	82.0	80	14° 19'	75.7	75	15° 17'
60	0.15	123.2	120	9° 33'	113.4	115	9° 58'
70	0.14	175.4	175	6° 33'	160.8	160	7° 10'
80	0.14	229.1	230	4° 59'	210.0	210	5° 27'
90	0.13	303.7	305	3° 46'	277.3	275	4° 10'
100	0.12	393.7	395	2° 54'	357.9	360	3° 11'
110	0.11	501.5	500	2° 17'	453.7	455	2° 31'
120	0.09	667.0	665	1° 43'	596.8	595	1° 56'

Figura 4. Radios mínimos y grados máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

Curvas Horizontales de Transición

El cambio de dirección en el alineamiento horizontal desde una recta a una curva horizontal o viceversa, puede ser causa de invasión del carril contrario debido a la fuerza que desarrolla el vehículo según su velocidad. Este factor es más considerable cuando se está en presencia de radios de giro muy pequeños, debido al cambio de dirección mayor respecto al que se produce con una curva de mayor radio de giro.

Por estos motivos es que en los nuevos diseños se ha venido implementando las curvas de transición o también llamadas espirales de transición, mediante las cuales se hace un trazo de curva más suavizado mediante la elongación de la curva con una espiral casi paralela a la tangente.

De este modo, se evidencia que la utilización de espirales mejora considerablemente tanto la circulación como la apariencia de las

curvas, evitando cambios drásticos en la aceleración radial, la cual es incómoda para los usuarios.

El cálculo de las espirales puede realizarse por diferentes métodos sin embargo en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras regionales se establece la ecuación 3 según el método planteado por W.H. Shortt en 1909, para aplicarse al diseño de curvas horizontales para ferrocarriles y que después se consideró para el diseño de curvas en carreteras tal y como se presenta en la ecuación 3.

$$L_e = [0.0702 V^3 / (R * C)]$$

Ecuación 3. Cálculo de longitud de espiral.

En donde:

v: Velocidad, (km/h)

R: Radio central de la curva, (m)

C: Tasa de incremento de la aceleración centrípeta, (m/seg³)

El cálculo de longitudes de espiral en intersecciones se realiza de la misma manera que en carretera abierta, a diferencia que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C menores a los que se deben aplicar en las intersecciones.

En la figura 5 se muestran diferentes valores en base al cálculo de longitud de espiral según diferentes combinaciones de velocidades de diseño, así como de diferentes peraltes. Siendo estos valores mínimos recomendados, por lo que el criterio de la utilización de los ismos como de incrementar estos valores es decisión del diseñador.

Además esta dimensión de espiral debe estar ubicada a 2/3 en la tangente y 1/3 al principio de la curva circular.

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño Km/h							
	40	50	60	70	80	90	100	110
Carriles de 3.60 metros								
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	35	35	40	40	50	55	60	65
0.08	45	45	50	55	60	60	65	70
0.10	55	55	60	65	75	75	80	85
0.12	65	65	75	80	90	90	95	105
Carriles de 3.00 metros								
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	30	30	35	40	50	55	60	65
0.08	35	40	40	45	50	55	60	65
0.10	45	45	50	55	60	65	70	75
0.12	55	55	60	65	75	75	80	85

Figura 5. Longitudes de Desarrollo de la Sobreelevación en Carreteras de dos Carriles, en metros. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales

Cualquier tipo de obstrucción a la visibilidad del conductor que se produzca en el trayecto de las curvas debe ser considerado y de esta forma realizar el debido tratamiento de despeje que garantice la adecuada visibilidad

“La línea de vista es la cuerda de la curva y la distancia de visibilidad de parada se mide a lo largo de la línea central del carril interior de la referida curva. Se requiere que la ordenada media desde el centro de la curva hasta la obstrucción, no obstaculice la visibilidad de parada requerida

en sus valores alto y bajo, para satisfacer las necesidades del conductor”¹².

Según el manual la ecuación que relaciona los parámetros de diseño para esta distancia está dada por la ecuación 3 y la ecuación 4.

$$(S/2)^2 = (2R - d) * d$$

Ecuación 4. Cálculo de distancias de visibilidad

En donde:

R: Radio de curva, metros.

d: Distancia entre la línea central del carril interior de la curva y la obstrucción limitante de visibilidad, metros (ordenada media).

S: Distancia de visibilidad de parada medida a lo largo de la curva, metros.

$$d = L(2S - L) / 8R$$

Ecuación 5. Cálculo de distancias de visibilidad

En donde:

L: Longitud de curva (m)

S y R son los mismos valores anteriores.

Distancias de Visibilidad de Parada

Esta es la distancia que necesita un conductor para lograr parar su vehículo a partir de la velocidad de rueda, en caso de percibir una situación anómala en el trayecto, ante un peligro u obstáculo.

Esta distancia está formada por la suma de una distancia “d1” en la que el conductor percibe y reacciona ante un evento imprevisto y una distancia “d2” en el que el vehículo frena hasta llegar a detenerse.

La primera distancia está en función del tiempo de reacción del conductor, el cuál es considerado según el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales como de dos y medio segundos, el cuál es apropiado para situaciones adversas y complejas en la conducción.

$$d1 = 0.278 * v * t$$

¹² Leclair, R. 2004. **MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES.** Guatemala. 4c-52p.

Ecuación 6. Cálculo de distancias de visibilidad de parada.

En donde:

v: Velocidad inicial, kilómetros por hora.

t: Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 segundos.

$$d_2 = v^2 / (254 * f \pm G)$$

Ecuación 7. Cálculo de distancias de visibilidad de parada.

En donde:

v: velocidad inicial, (km/h)

f: coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

G: Porcentaje de la pendiente dividida entre 100, siendo positiva la pendiente de ascenso (+) y negativa (-) la de bajada.

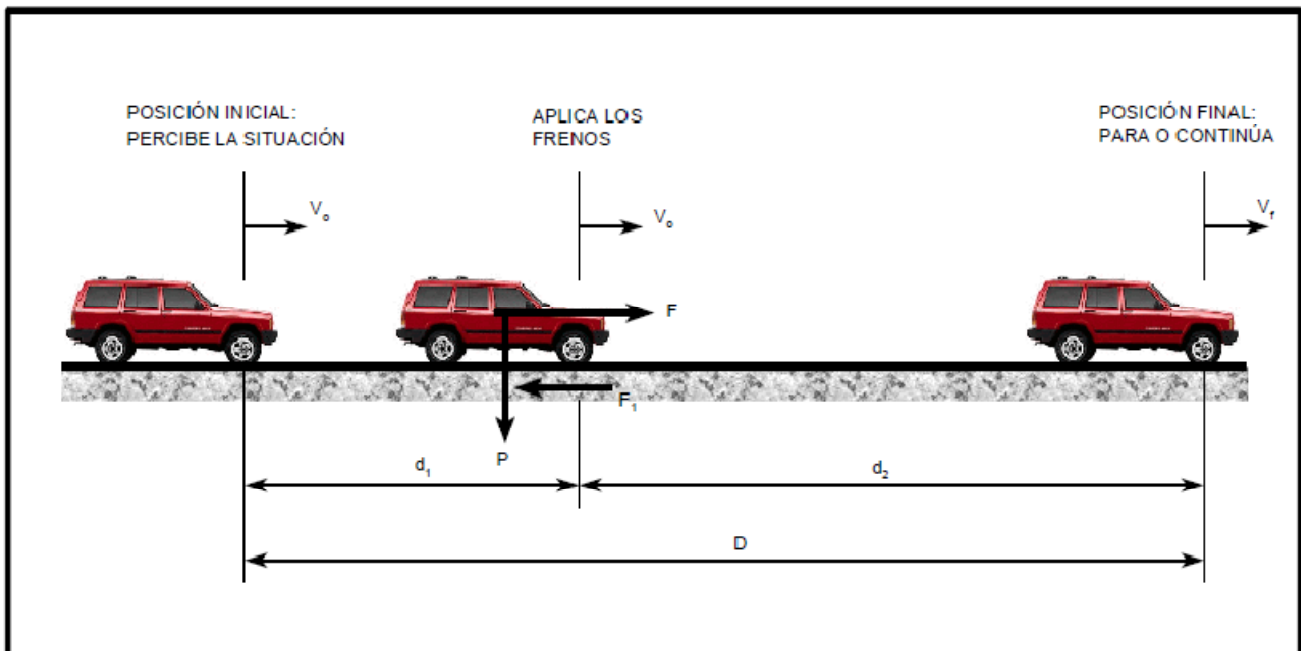


Figura 6: Distancia de visibilidad de parada. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carretas Regionales)

Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

Esta distancia consiste en la mínima distancia de visibilidad requerida para que un vehículo pueda adelantar a otro que circula a menor velocidad por el mismo carril en la misma dirección en condiciones evidentemente seguras, de forma que ingrese al carril contrario para realizar la maniobra siempre y cuando no se perciba otro vehículo en el carril contrario o que se pueda realizar el adelantamiento sin afectar la

velocidad del vehículo en dirección opuesta. El conductor puede volver a su carril si considera que la distancia o proximidad a la que se encuentra el vehículo en sentido contrario no es la suficiente para el adelantamiento.

Esta distancia puede ser calculada a partir de la sumatoria de cuatro distancias separadas, tal y como se presentan en la figura 7

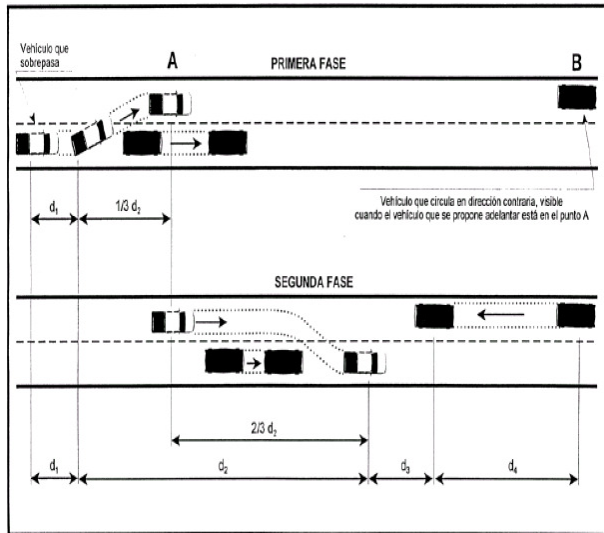


Figura 7. Etapas de la maniobra para adelantamiento en carreteras de dos carriles. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

La distancia de demora “d1” es calculada mediante la ecuación 8.

$$d_1 = 0.278 * t_1 * \left[v - m + a * \left(\frac{t_1}{2} \right) \right]$$

Ecuación 8. Cálculo de distancias de adelantamiento.

En donde:

v: velocidad promedio del vehículo que rebasa, (km/h)

t₁: Tiempo de maniobra inicial, (seg)

a: Aceleración promedio del vehículo que efectúa el rebase, en (km/h)/seg. Durante el inicio de la maniobra.

m: Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa, (km/h)

Distancia de adelantamiento “d2” expresado por la ecuación 9.

$$d_2 = 0.278 * v * t_2$$

Ecuación 9. Cálculo de distancias de adelantamiento.

En donde:

v: velocidad promedio del vehículo que ejecuta el adelantamiento, (km/h)

t₂: Tiempo de ocupación del carril opuesto, (seg)

Distancia de seguridad “d3

Según el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales se puede

emplear un valor entre 35 y 90 m según se considere.

Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario “d4 “

Esta distancia es calculada a partir de (2/3) de la distancia “d2” ya calculada.

Mediante estos cálculos el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales expone en el figura 8 diferentes distancia mínimas de adelantamiento para velocidades de diseño entre 30 y 100 km/h realizando incrementos de 10 km/h obtenida en base a los cálculos de distancias planteados en las ecuaciones anteriormente enunciadas.

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 134

Figura 8. (Distancias Mínimas de Diseño para Carreteras Rurales de dos Carriles, en metros (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales)

Carril de aceleración

“Carril destinado a facilitar la incorporación de vehículos que acceden a una vía de circulación rápida-autopista, autovía o vía rápida- de forma que, a lo largo de su recorrido. Puedan adecuar su velocidad con la de los vehículos que circulan por la vía a la que acceden”¹³.

¹³ Bañon, L. Bevia, J. 2000. MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO. Universidad de Alicante. España. 4c-11p.



Figura 9. Detalle de carril de desaceleración. (Fuente: Bañon, L. Bevia, J. 2000. MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO. Universidad de Alicante. 4c-10p.

Carril de deceleración

“Cumple una función análoga a la anterior, facilitando la progresiva reducción de la velocidad de aquellos vehículos que abandonan una vía de circulación rápida para incorporarse a otra de velocidad específica más baja”¹⁴.



Figura 10. Detalle de carril de desaceleración. (Fuente: Bañon, L. Bevia, J. 2000. MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO. Universidad de Alicante. España. 4c-11p.

Sobreanchos en Curvas

Este tipo de elemento está enfocado a cubrir las necesidades de espacio en carreteras que poseen ancho de carriles bajos o radios de carril de pequeña dimensión, por lo que se hace necesario implementar en la medida de lo posible un mayor espacio en el carril de manera que se brinde una mayor facilidad de tránsito de los vehículos, especialmente los que poseen mayores dimensiones y separación entre sus ejes como lo es en el caso de los camiones tipo T3-S2 o vehículos similares en los que su demanda de espacio para realizar giros es grande.

Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales los sobreanchos pueden ser calculados según la figura 11 para el caso de carreteras de dos carriles.

¹⁴ Bañon, L. Bevia, J. 2000. MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO. Universidad de Alicante. España. 4c-11p.

Ancho Calzada	7.2 metros							6.6 metros							6.0 metros							
Radio de Curva (m)	Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							
	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	
1500	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	
1000	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	
750	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5		0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1			
300	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5			0.6	0.7	0.7	0.8	0.8			0.9	1.0	1.0	1.1				
250	0.4	0.5	0.5	0.6				0.7	0.8	0.8	0.9				1.0	1.1	1.1	1.2				
200	0.6	0.7	0.8					0.9	1.0	1.1					1.2	1.3	1.3	1.4				
150	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
140	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
130	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
120	0.7	0.8						1.0	1.1						1.3	1.4						
110	0.7							1.0							1.3							
100	0.8							1.1							1.4							
90	0.8							1.1							1.4							
80	1							1.3							1.6							
70	1.1							1.4							1.7							

Figura 11. Sobreebancho en Curvas de Carreteras de dos Carril. (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales).

En el caso de carreteras con mayor número de carriles según el mismo manual, esta dimensión puede ser calculada mediante la expresión empírica mostrada en la ecuación 10.

$$S = n [R - (R^2 - L^2)^{1/2}] + 0.10V / R^{1/2}$$

Ecuación 10. Cálculo de sobreebanchos.

En donde

S: Valor sobreebancho, (m)

N: Número de carriles de la superficie de rodamiento

L: Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, (m)

R: Radio de curvatura, (m)

V: Velocidad de diseño de la carretera, (km/h)

Alineamiento vertical

Este concepto se basa en la escogencia del nivel de rasante en base a las características propias de la topografía, tipo de material en sitio, factibilidad de realización de corte, posibilidades de materiales de préstamo y otros factores que combinados llevan a determinar cuál es el trazo a seguir.

El alineamiento vertical está formado por tangentes y curvas tanto simétricas como asimétricas en los casos que sea necesario, a fin de proporcionar la mayor funcionalidad como comodidad al usuario.

Este determina en gran medida los costos del proyecto pues las actividades que lo conforman pueden llegar a hacer que el diseño sea factible o no según sus costos asociados.

Cuadro 5. Clasificación de los Terrenos en función de las Pendientes Naturales (Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales).

Tipo de terreno	Rangos de pendiente (%)
Plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 < G \leq 15$
Montañoso	$15 < G \leq 30$

Curvas Verticales en Cresta ó Convexa

Estas curvas deben de ser diseñadas de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño. En el caso de que la longitud de curva sea mayor que la distancia de visibilidad se calcula mediante la ecuación 11.

En caso contrario esta longitud debe ser calculada mediante la ecuación 12.

$$L = G S^2 / 200(\sqrt{h1} + \sqrt{h2})^2$$

Ecuación 11. Cálculo de longitud de curva en cresta.

En donde:

G = Diferencia algebraica de pendientes (%)

S = Distancia de visibilidad

h1 = Altura del ojo del conductor

h2 = Altura del objeto

Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor h1 = 1.07 metros y del objeto h2 = 0.15 metros, la ecuación para diseño es la siguiente:

$$L = G S^2 / 404$$

Ecuación 11. Cálculo de longitud de curva en cresta.

$$L = 2 S - 404/G$$

Ecuación 12. Cálculo de longitud de curva en cresta.

Curvas en Columpios o Cóncavas

Estas deben ser diseñadas en base a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño, de este modo se calcula la longitud de curva en base a cuatro diferentes criterios.

En el primer caso esta longitud se basa en la distancia iluminada por los faros del vehículo y es calculada mediante la ecuación 13 cuando la longitud de curva es mayor que la distancia de visibilidad iluminada y mediante la ecuación 14 en caso contrario.

$$L = G S^2 / (120 + 3.5 * S)$$

Ecuación 13. Cálculo de longitud de curva en columpio.

En donde:

L = Longitud mínima de curva vertical en columpio, m.

S= Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

G= Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

$$L_{min} = 2S - (120 + 3.5 * S)/G$$

Ecuación 14. Cálculo de longitud de curva en columpio.

Para el segundo se considera la sensación de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical. En el tercero considera requerimientos de drenaje, mientras que el cuarto caso se basa en consideraciones estéticas, tal como se presenta en el manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales

Pozos de visita o registro

El diseño y empleo de pozos de registro para sistemas de recolección de agua pluvial está fundamentado en la necesidad de dar mantenimiento periódico, inspección y limpieza a los sistemas de alcantarillado. Estos elementos cumplen una función fundamental en el buen funcionamiento de estos sistemas y deben cumplir con la normativa estipulada en el manual de diseño de la institución gubernamental AYA (acueductos y alcantarillados) de forma que se establezcan los estándares a cumplir para el buen funcionamiento de los sistemas de recolección de aguas.

“Los pozos de visita son parte de las obras accesorias de un alcantarillado y son empleados como medios de inspección y limpieza. Se diseñarán pozos de visita para localizarlos en distancias no mayores de 100 metros”¹⁵.

Estos elementos deben de ser capases de brindar la capacidad para el ingreso de una persona a realizar labores de mantenimiento, además deben de cumplir con las estipulaciones dadas en el manual de manera que el elemento proporcione las características ideales para el adecuado desfogue del agua así como las respectivas pendientes.

Siempre debe de mantenerse una diferencia entre las cotas en entrada y salida de tuberías, de manera que se establezca una diferencia de elevaciones que garantice el adecuado flujo de agua entre un punto y el otro, cabe considerar que si la diferencia e elevaciones entre estos puntos es mayor a setenta centímetros

¹⁵ Hun L. 2003. **DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA UN SECTOR DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ.** Tesis final de graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala. 63p.

se debe de diseñar un accesorio especial que funciones como dissipador de energía que pueda encausar el flujo con la menor turbulencia posible, que podrían llevar al deterioro acelerado de las estructuras.

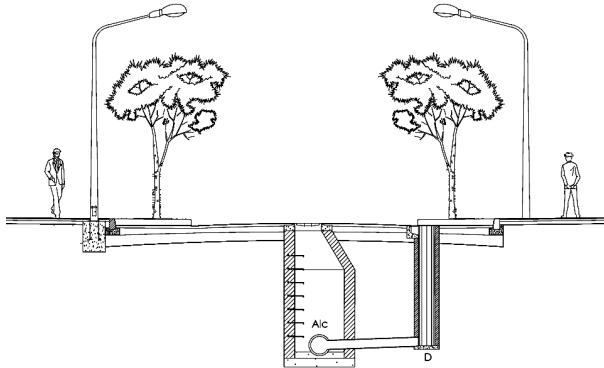


Figura 12. Detalle de pozo de registro y pozo tragante del sistema de drenaje. (Fuente: Bañón, L. Bevia, J. 2000. *MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO.* Universidad de Alicante. España. 4c-27p.

Tragantes

Como parte primordial para el adecuado tratamiento de las aguas pluviales, se debe diseñar los adecuados sistemas de recolección de agua como lo son los pozos tragantes, los cuales son las aberturas que en las superficies de las calles o en los bordillos, dan acceso a las aguas pluviales, para ser conducidos hasta las tuberías respectivas de drenaje. De este modo los pozos tragantes deben ser ubicados estratégicamente en puntos donde el caudal no provoque tirantes mayores a los diez centímetros en caño, cambios de dirección de flujo, partes bajas al final de cada cuadra y únicamente en aquellas calles que posean una estructura de pavimento o vayan a recibir algún tipo de tratamiento estabilizador de la superficie de rodadura.

Rejillas

El sistema consiste en la colocación de una barrera capaz de filtrar el agua hasta el pozo tragante. La aplicación de este sistema es parte importante en el adecuado desfogue de los caudales de agua pluvial, de forma tal que impide el trasiego de materiales que pueden llegar a bloquear el sistema de drenajes, específicamente el pozo.

"Generalmente van colocadas en canales de poca velocidad, de donde resulta que la diferencia de las alturas de agua entre barrotes y después de la rejilla es prácticamente despreciable al lado de las alturas mismas, de modo que las velocidades se pueden considerar proporcionalmente las alturas"¹⁶.

Profundidad de la tubería

Las profundidades a la cuales debe colocarse las tuberías de desfogue deben mantener una distancia entre estructura de pavimento y la corona del tubo de manera que esta distancia logre causar un efecto de disipación de cargas aplicadas en la superficie de rodadura y con esto se pueda proporcionar garantía de que las tuberías no lleguen a fallar por causas ajenas a flujos de agua para la que deben estar diseñadas.

"En todo diseño de un sistema de drenaje pluvial, se deben respetar las profundidades mínimas ya establecidas. La profundidad mínima se mide desde la superficie del suelo, hasta la parte superior del tubo"¹⁷.

Además, las profundidades mínimas a las que deben de estar colocada las tuberías para sistemas de desfogue de aguas pluviales son en la mayoría de los casos indicados por el fabricante, esto debido a las características propias de la tubería y los esfuerzos a los cuales pueden estar sometidos los sistemas por cargas de impacto o de tránsito.

¹⁶ Domínguez. F. 1999. **HIDRAULICA.** Santiago de Chile. Editorial Universitaria. 437p.

¹⁷ Hun L. 2003. **DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA UN SECTOR DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ.** Tesis final de graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala. 62p.

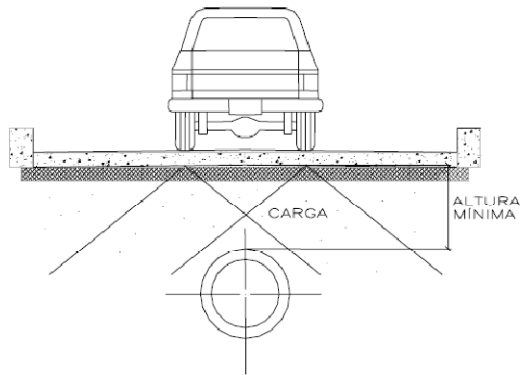


Figura. 13. Profundidad de la tubería (Fuente tesis diseño vial 63 pg.)

Alcantarillas

Las alcantarillas son sistemas compuestos de tuberías y otros elementos que pueden ser de diferentes tipos de materiales según sea su uso y sus requerimientos técnicos, como capacidad de carga, condiciones ambientales a las que este expuesta, entre otros.

En el caso de carreteras, las alcantarillas tienen la función de transportar el agua de un punto a otro de menor elevación mediante la construcción con un grado de pendiente a través de la misma.

Están conectadas a sistemas de drenajes superficiales como cunetas o micro cuencas de forma tal que forman un conjunto para el sistema de drenaje. Además deben de estar acondicionados con otros elementos como cabezales, aletones, delantales o cualquier otro tipo de estructura que sea necesaria para el adecuado funcionamiento y de esta forma poder dar la conducción al agua, así como también para protegerlas de obstrucciones o afectaciones por malos usos o cargas para las que no estén diseñadas.

“Tubería de drenaje hecha generalmente de metal, concreto o plástico, e instalada por debajo de la superficie del camino, para desalojar el agua desde el interior del camino hasta el exterior del mismo, o por debajo del camino. Las alcantarillas se usan para drenar las cunetas, los manantiales y los arroyos que cruzan el camino.

La cubeta es el piso o el fondo de la estructura en su punto de entrada¹⁸.

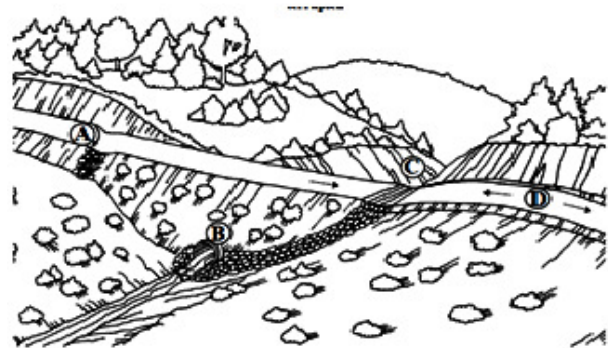


Figura. 14. Alcantarilla instalada con protección, usando un vado de Desbordamiento acorazado para evitar el arrastre y la falla del terraplén (Fuente: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales)

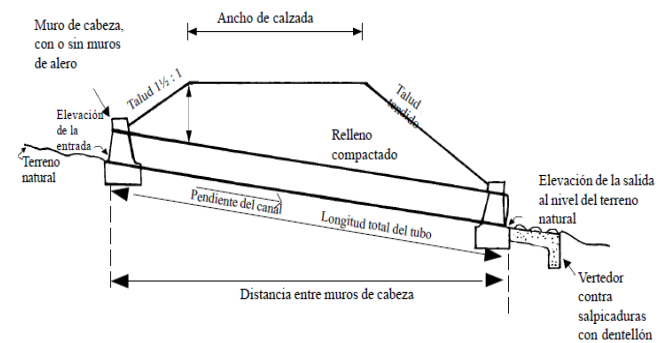


Figura. 15. Instalación de alcantarillas y detalles de protección de la boca de salida, con vertedores contra salpicaduras o con tanque amortiguador revestido de enrocamiento relleno. (Fuente: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales)

¹⁸ Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. **INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES.** México. Instituto Mexicano de Transporte. XV p

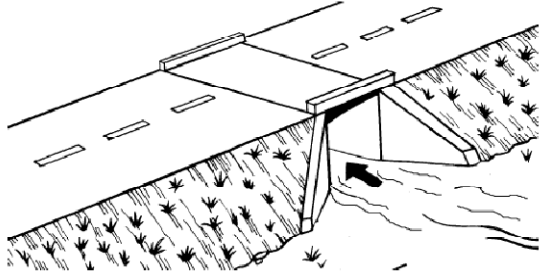


Figura 16. Alcantarilla de cajón de concreto con muros de alero de concreto para protección de la enteeda y de la salida, así como para la contención del relleno. (Fuente: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales)

Canal abierto

“Un canal abierto es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido, la solución exacta de los problemas de flujo es difícil y depende de datos experimentales que deben cumplir una amplia gama de condiciones”¹⁹

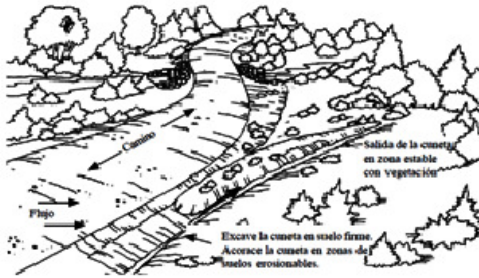


Figura 17 Cunetas y acorazamiento de cunetas Cabezales (Fuente: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales)

Consiste en un elemento que proporciona soporte a la estructura de drenaje o alcantarilla, de manera que impide el socavamiento de las capas de material alrededor de la boca y salida de alcantarillas, sirve como conductor del agua hasta la alcantarilla, únicamente son reforzados con acero en los casos en que se requiere una capacidad de carga de los mismos, además determinan en gran parte la funcionalidad de la estructura de drenaje mediante el confinamiento que brindan a la tubería.

¹⁹ Giles, R. 2003. **MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA**. Editorial. Mc Graw Hill. Madrid España. 160 p

“Muro construido de concreto, gaviones, mampostería o troncos alrededor de la entrada o de la salida de una tubería o estructura de drenaje para aumentar la capacidad de flujo de entrada, reducir el riesgo de daños por escombros, retener el material de relleno y minimizar la socavación alrededor de la estructura”²⁰.



Figura 18. Una alcantarilla bien diseñada e instalada con muros de cabecera, para mejorar la eficiencia y para la protección o retención del material de relleno. (Fuente: Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales)

Subrasante

“Es la superficie del cuerpo del terraplén sobre la cual se colocan las capas de subbase, base o superficie de rodamiento. En el caso de caminos sin una capa de base o sin capa superficial, esta parte del cuerpo de terraplén se convierte en la superficie final de rodamiento. La subrasante está generalmente al nivel del material in situ”²¹.

Base

“Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura”²².

²⁰ Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. **INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES**. México. Instituto Mexicano de Transporte. XVII p

²¹ Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. **INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES**. México. Instituto Mexicano de Transporte. XIII p

²² Coronado, J. 2002. **MANUAL CENTROAMERICANO PARA**

Sub base

“Esta es la capa secundaria de distribución de la carga y que subyace a la capa de base. Normalmente está constituida por un material que tiene una menor resistencia y durabilidad que la del material usado en la base, por ejemplo, grava natural sin procesar, grava y arena o una mezcla de grava, arena y arcilla”²³.

Capa superficial

Es la capa superior de la superficie del camino, llamada también superficie de rodamiento. Entre los materiales de revestimiento usados para mejorar el confort del conductor, para proporcionar apoyo estructural y para impermeabilizar la superficie del camino a fin de usarse en la temporada de lluvias, está la roca, cantos rodados, agregados triturados y pavimentos, tales como revestimiento superficial, tratamientos superficiales bituminosos y concretos asfálticos.

Pavimentos flexibles

Estas estructuras están constituidas por una cobertura en material asfáltico relativamente delgada, frecuentemente cuando se trata de vías de bajo tráfico esta cobertura se reduce a un tratamiento superficial colocado directamente sobre las capas de materiales no tratados.

El diseño de un pavimento va de la mano a una serie de parámetros muy variantes para cada caso en particular, en este caso el diseño de un pavimento flexible se fundamenta en la forma de transmisión de carga que presenta la estructura además de la capacidad estructural que tienen que tener los estratos de la estructura para que puedan proteger la superficie en que será colocada la estructura llamada subrasante y la cuál tiene por lo general valores de capacidad de soporte muy bajos en comparación con las capas de la estructura de pavimento como lo son las bases

granulares, subbases o la misma capa de rodadura.

De este modo la estructura de pavimento debe ser capaz de resistir las cargas cíclicas de los vehículos, así como también las variaciones de humedad que se presentan en el suelo y las consecuencias que esto pueda traer a la estructura, esto sin dejar de prever el mantenimiento respectivo que debe de ser proporcionado durante todo el ciclo de vida útil del pavimento

Pavimentos rígidos

Los pavimentos de concreto hidráulico también conocidos como pavimentos rígidos por la forma de transmisión de carga hacia los estratos por debajo de la misma, están formados por una o varias capas granulares como base par la colocación de las losas de concreto hidráulico. Se caracterizan por su buen desempeño bajo exigencias de cargas considerablemente altas y el bajo nivel de deformación que permite durante su vida útil. Para las mismas consideraciones de diseño, suelo necesitar menores espesores de estructura comparado con los pavimentos flexibles, esto debido a la resistencia que posee este tipo de estructura ante esfuerzos aplicados.

“La capa de concreto reposa sobre una capa de sub-base que puede estar constituida por materiales tratados con ligantes hidráulicos, en concreto hidráulico o en material drenante no tratado. También se puede colocar directamente sobre la subrasante, en cuyo caso se interpone frecuentemente una capa en material asfáltico. La losa de concreto puede construirse con un refuerzo longitudinal continuo (concreto armado) o discontinuo con o sin elementos de transmisión de esfuerzos en las juntas o también llamados pasadores”²⁴.

EL DISEÑO DE PAVIMENTOS. Guatemala. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. XVI

²³ Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES. México. Instituto Mexicano de Transporte. Xiii p

²⁴ Leclair, R. 2004. **MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BOGOTÁ D.C.** Colombia. Universidad de los Andes. 30p

METOLOGÍA

El diseño geométrico vial se basa en un análisis de los diferentes factores que afectan cada proyecto en particular, de forma que se pueda establecer las necesidades propias para cada diseño, dependiendo del tipo de tránsito, cantidad del mismo, zona geográfica, variaciones topográficas, crecimiento demográfico, actividades comerciales que se den en la zona, entre otros.

De este modo el diseño geométrico no solo debe cumplir con proporcionar una capacidad para cumplir con una demanda de tránsito específica, sino que también tiene que considerar la interacción entre los usuarios que transitan en vehículos con los peatones que utilicen el sistema vial.

Mediante la investigación, observación de sitio, consultas a los vecinos o cualquier otra información que se logre recopilar, se procede a plantear cuales son los requerimientos específicos del proyecto, de forma que se logre establecer un punto de partida para de esta forma proyectar el diseño a una cantidad de años escogida para el cual, el diseño todavía pueda cumplir con las necesidades que vigentes en ese momento.

Por medio de la recopilación de datos de campo de tránsito con conteos del mismo, se logra establecer la cantidad de vehículos del tránsito local y con esto poder establecer un tránsito promedio diario anual, el cual es el primer dato de partida al diseño, sin embargo, la ubicación del proyecto hace que este sea una vía potencialmente eficiente para el traslado de vehículos provenientes tanto de Orosi como de localidades de Ujarras, Cachí; entre otros, por lo que es de vital importancia hacer la consideración o estimación de la cantidad de flujo de tránsito proveniente de estos sectores que va afectar directamente el proyecto.

De este modo la estimación de estos volúmenes de tránsito en el diseño, da un cambio drástico en las consideraciones a ser tomadas en el proyecto, pues el aumento masivo en la cantidad de vehículos o cantidad de ejes equivalentes representando los diferentes tipos de

vehículos que circulen en la vía, hace que los elementos que comprenden el proyecto aumenten sus dimensiones o capacidades.

Con los datos de conteos realizados para el tránsito local, se procedió a buscar información de tránsito promedio diario anual de los flujos de vehículos provenientes de los lugares ya enunciados, por lo que se recurrió a consultar al departamento de planificación sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte sobre posibles conteos vehiculares, y con lo que se pudo conseguir datos reales de flujo de conteos realizados en el año dos mil ocho, y la respectiva proyección de crecimiento según datos del mismo departamento.

Al tener los datos de flujo vehicular, se estimó el porcentaje de este flujo que debe ser considerado para el respectivo diseño, por lo que al no tener un estudio de origen y destino de estos flujos vehiculares se procedió a la entrevista a personal de las municipalidades tanto de Cartago como de Paraíso de Cartago, que conllevo a la estimación de que un sesenta por ciento del flujo proveniente de Orosi y un diez por ciento del flujo proveniente del valle de Ujarras.

Además esta proyección se realizó mediante la observación geográfica de la zona e identificando las posibles distancias a recorrer, así como también el hecho de que se logrará el descongestionamiento del centro de Paraíso de Cartago mediante el mejoramiento de esta ruta.

Con los datos de tránsito y sus respectivos porcentajes se procede a realizar las proyecciones de cantidad de flujo vehicular para un periodo de diseño de veinte años y para el cual se obtiene un tránsito promedio diario anual de siete mil quinientos doce vehículos, que combinándolo con la topografía del terreno, que para este caso es ondulado, nos da una clasificación de carretera de trocal rural, según el manual centroamericano de diseño geométrico.

Una vez identificada el tipo de ruta, se procede a la determinación de la velocidad de

diseño para la cual deberá cumplir la vía, y a la vez poder evaluar posibles restricciones de velocidad por situaciones propias del proyecto.

Sin embargo por el tipo de zona y las posibilidades de urbanización que se pueden presentar en un mediano plazo según la información proporcionada por el departamento de urbanismo de la municipalidad de Paraíso en el que se indico el hecho de tener ya aprobados los permisos para urbanizar algunos terrenos en las cercanías del proyecto. Con estos aspectos identificados se determinó que la velocidad de setenta kilómetros por hora debe estar restringida a valores no mayores a los cincuenta kilómetros por hora, y evaluando que hay presencia de una escuela frente a un sector del proyecto, dos centros de recreo turísticos como lo es el caso del jardín botánico Iankaster como también la laguna de Doña Ana y que además, se está proyectando un diseño con un alto porcentaje de transitabilidad de vehículos pesados, por lo que no sería conveniente establecer límites de velocidad muy altos.

Después de establecer la velocidad de diseño para el proyecto se identifican los radios mínimos de curvatura para las respectivas curvas horizontales, considerando que se deben mantener en la medida de lo posible los derechos de vía existentes y de forma que se tenga que expropiar la menor cantidad de área posible.

Definidos estos parámetros para el diseño horizontal se debe proponer los radios de curvatura horizontales, verificar distancias de adelantamientos, distancias de visibilidad de parada, además se analizan las necesidades de sobreechanco y aplicaciones de espirales en curvas de manera que se proporcione mayor funcionalidad al diseño.

Igualmente para el diseño vertical, de deben proponer los radios de curvatura necesarios para cumplir con los requerimientos de longitud mínima de curva, dependiendo si son curvas en columpio o en cresta. En esta etapa también se debe considerar la ubicación del nivel de rasante, pues de este factor depende mucho la funcionalidad del proyecto con los sistemas de drenaje y la viabilidad con las cantidades de corte o relleno que se propongan.

Este diseño debe de ofrecer de los complementos necesarios para cumplir con los requerimientos que demanda la vía, entre estos destacan los espaldones y las aceras en base al manual centroamericano de diseño vial. Además

se deberá facilitar a los usuarios de un tramo de ciclovía que está enfocado a brindar facilidades a los usuarios que no transitan en vehículos automotores.

Una vez plasmados los aspectos de diseño planimétrico y en altimetría se procede al diseño de las estructuras de drenaje, que en la construcción o mejoramiento de carreteras es una de las variables más importantes para el buen funcionamiento de los sistemas que se coloquen, pues es el factor agua quien más puede llegar a afectar las estructuras si no se maneja un adecuado sistema, que evacue lo más rápido posible el agua siempre y cuando no erosionen y de esta forma sea llevado hasta cuencas naturales que no afecten cualquier otro elemento que se encuentre en elevaciones menores respecto a los puntos de desfogue.

De esta forma el diseño de las estructuras de drenaje va de la mano con una serie de factores entre las que destacan algunas como lo son las variaciones topográficas en la que se encuentre el proyecto, las precipitaciones que se presenten, el tipo de zonas que se vean afectadas por el proyecto y el grado de urbanización que se tenga, pues de este depende mucho el tipo de secciones que se escojan para conducir el agua.

Una vez identificados estos factores se debe de realizar un adecuado análisis mediante la observación en sitio, entrevistas a los vecinos de forma que se identifiquen problemas potenciales y que únicamente son observados por los individuos que están constantemente en la zona y que son quienes sufren en algunas ocasiones de la mala planificación, así como también de la falta de estructuras que puedan canalizar adecuadamente los flujos de agua. Después de tener una visión clara de las condiciones de sitio se parte a estimar las posibles cuencas que llegarán a afectar el proyecto y los caudales que estarán afectando la estructura vial.

En este caso se procederá al diseño mediante el método racional tal como se presenta en la literatura, y basándose en los datos presentados en la tesis **diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carretera** así como también en los libros “Hidrología Aplicada de Ven Te Chow” y “Mecánica de Fluidos Aplicada de Robert L. Mott”.

Ya con las características propias de la topografía, como de de la zona se procede al diseño de las estructuras de canalización, para la estimación de las áreas de influencia que afectan

directamente el proyecto se hace la utilización de mapas con curvas de nivel y con las cuales se puede establecer aproximadamente el flujo de agua para cada estructura en particular.

Después de realizar el cálculo de las áreas de influencia se determina la longitud aproximada de la cuenca, así como también la diferencia de elevación entre el punto más alejado de la cuenca y el punto de llegada a la estructura de canalización, con estos datos se procede a realizar el cálculo de tiempo de concentración o infiltración que tiene cada cuenca. Ubicando el proyecto según las curvas de intensidad de lluvia respectiva, que para este caso se utilizarán las isoyetas para la zona establecida entre Cartago y Paraíso de Cartago y estableciendo el tiempo de retorno o cantidad de años para el que se está haciendo el diseño se procede a identificar el valor de lluvia máxima con duración de una hora el cual se diseñará para un periodo de retorno de veinte años y el valor de isoyeta en la que se ubico el proyecto previamente.

Para el cálculo de coeficientes de uso de suelo se realiza la proyección para el periodo de diseño, el cuál es una estimación de los cambios de uso de suelo, dependiendo de las características topográficas, consultas a los vecinos, situación actual de la zona, servicios públicos disponibles, etc. Todos estos parámetros deben ser considerados de manera que se establezca una proyección adecuada a las demandas futuras.

Para este caso en particular se escogieron los valores de uso de suelo planteados en la tesis **diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carretera** así como consideraciones dadas por la experiencia de profesionales en el área, que laboran en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, dando como valores para diseño los siguientes coeficientes:

Techos: 0.6

Cultivos: 0.4

Pastizales: 0.15

Bosque: 0.1

El diseño de las dimensiones de las cunetas se basó en la iteración de valores de un tirante propuesto mediante el programa Microsoft Excel, en base a los caudales calculados previamente mediante el método racional, de manera que se obtenga el valor de tirante necesario para cumplir con una demanda de caudal específico para cada cuneta realizando

variaciones en las pendientes de las paredes de las cunetas.

Por otro lado el diseño de las alcantarillas obedece a un diseño que debe garantizar un diámetro capaz de soportar un tirante que no supere en más del setenta por ciento la demanda de caudal proyectada al periodo de retorno, colocando a su vez de los elementos necesarios para un adecuado funcionamiento de los mismos como lo son los cabezales y tragantes en los casos que se requiera.

El otro diseño que se debe ser presentado es el de la estructura de pavimento, el cuál debe estar enfocado a satisfacer las cargas aplicadas por los vehículos de diseño y proyectadas al periodo de diseño. En este caso se deberá proponer el índice de serviciabilidad inicial y final, periodo de diseño y crecimiento anual de la demanda de tránsito.

Se deberá realizar tres diseños para escoger la propuesta que mejor se ajuste a los requerimientos planteados, deberá realizarse el diseño de un pavimento flexible, diseño de pavimento rígido, así como una propuesta de pavimento con base estabilizada y carpeta asfáltica o conocido también como pavimento semirrígido.

Estos diseños se harán en base a la metodología estipula en la guía AASHTO para el diseño de pavimentos, considerando factores equivalentes de carga tanto para pavimento rígido como para flexible en base a las cargas por ejes sugeridas por el departamento de pesos y dimensiones el ministerio de obras públicas y transportes.

El diseño estará planteado para dos tramos con diferente demanda de tránsito, por lo que las combinaciones de capas de las estructuras podrán variar en la medida en que sean sus cargas aplicadas.

RESULTADOS

Diseño geométrico

Según los datos obtenidos a partir de los conteos vehiculares como los proporcionados por el departamento de planificación sectorial se logró determinar el TPDa de diseño con un valor de 7513 Vpd. Asumiendo un porcentaje de afectación de la ruta a Cachí del 10% de su TPDa, un 60% de afectación de la ruta a Orósi y el 100% del tránsito local, tal como se presenta en la tabla 1.

Según el tránsito promedio diario y el tipo de zona, se define el tipo de carretera que según la clasificación del Manual centroamericano será una carretera Troncal Rural tal y como se presenta en la figura 20.

Tabla 1. Distribución vehicular (departamento de planificación sectorial Ministerio de obras Públicas y Transporte)

DISTRIBUCIÓN VEHICULAR			
	10%	60%	100%
ANO	CACHI	OROSI	LOCAL
2008	3220	4280	280
2009	3348.8	4451.2	291.2
2010	3482.752	4629.248	302.848
2011	3622.06208	4814.41792	314.96192
2012	3766.94456	5006.99464	327.560397
2013	3917.62235	5207.27442	340.662813
2014	4074.32724	5415.5654	354.289325
2015	4237.30033	5632.18802	368.460898
2016	4406.79234	5857.47554	383.199334
2017	4583.06404	6091.77456	398.527307
2018	4766.3866	6335.44554	414.4684
2019	4957.04206	6588.86336	431.047136
2020	5155.32374	6852.4179	448.289021
2021	5361.53669	7126.51461	466.220582
2022	5575.99816	7411.5752	484.869405
2023	5799.03809	7708.0382	504.264182
2024	6030.99961	8016.35973	524.434749
2025	6272.2396	8337.01412	545.412139
2026	6523.12918	8670.49469	567.228624
2027	6784.05435	9017.31447	589.917769
2028	7055.41652	9378.00705	613.51448
2029	7337.63318	9753.12733	638.055059
2030	7631.13851	10143.2524	663.577262

SUMATORIA 7512.64257

Después de obtener estos datos se escoge el vehículo de diseño, el cuál debe ser el WB-20 que está provisto de un semirremolque de 16.2 metros de longitud (53 pies), como se muestra en la figura 19.

Vehículo- Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño(m)
Automóvil, P	4.2 (4.7)	7.3 (7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5 (8.7)	12.8 (12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8 (6.0)	13.7 (13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Figura 19. La clasificación de los vehículos de diseño con sus características mínimas de giros para las carreteras regionales (fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

Según la clasificación de carretera que es Troncal Rural y el tipo de topografía que es ondulado se obtiene un nivel de servicio tipo B, como se presenta en la figura 21. Este nivel de servicio presenta sus condiciones de tránsito en la figura 22.

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales	
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500	
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75	
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85	
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15	
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M	
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50	
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2	
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3	
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5	
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava	
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110	
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480	
13	Radio Min. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195	
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'	
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10	
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10	
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1	
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44	
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30	
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-	
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D	
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control	
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR	

Figura 20. Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales (fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

Tipo de carretera	Tipo de Area y Nivel de Servicio Apropriado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano Suburbano
Autopista Especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Figura 21. Guía para seleccionar el Nivel de Servicio para Diseño (fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de "pare y siga", congestión de tránsito.

Figura 22. Nivel de Servicio (V/C) para carretera de dos carriles. (Fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

TPDA	>20,000		20,000-10,000		10,000-3,000		3,000-500	
	No. C	Superf.	No. C	Superf.	No. C	Superf.	No. C	Superf.
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav.	4-6	Pav.				
TS- Troncales Suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR- Troncales Rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS- Colectoras Suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR- Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Figura 23. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento. (Fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

Según la clasificación funcional de la carretera como Troncal Rural y un TPDA de 7513 Vpd la vía debe contener como mínimo dos carriles y la superficie de rodamiento debe ser pavimentada, como se presenta en la figura 23 además los anchos de espaldón serán de 1.2 metros para toda la sección de carretera, mientras

que la dimensión de acera será de 1.5 metros tal como se establece en la figura 24.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	1.2 - 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 - 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 - 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2

Figura 24. Anchos mínimos de hombros y aceras. (Fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Figura 25. Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno. (Fuente manual de diseño geométrico para carreteras regionales)

También debe de considerarse la velocidad de diseño para carretera según el TPDA y el tipo de terreno, en este caso ondulado, para la cual arroja un valor para velocidad de diseño de 70 km/h como se presenta en la figura 25. Sin embargo el proyecto al tratarse de un

mejoramiento geométrico tiene restricciones de velocidad utilizando como velocidades de 40 km/h en algunos sectores y de 50 km/h en otros. Los rangos de velocidades de diseño propuestos para el diseño están presentados en la figura 26.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8%			Peralte máximo 10%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	28.3	30	38° 12'	26.2	25	45° 50'
40	0.17	50.4	50	22° 55'	46.7	45	25° 28'
50	0.16	82.0	80	14° 19'	75.7	75	15° 17'
60	0.15	123.2	120	9° 33'	113.4	115	9° 58'
70	0.14	175.4	175	6° 33'	160.8	160	7° 10'
80	0.14	229.1	230	4° 59'	210.0	210	5° 27'
90	0.13	303.7	305	3° 46'	277.3	275	4° 10'
100	0.12	393.7	395	2° 54'	357.9	360	3° 11'
110	0.11	501.5	500	2° 17'	453.7	455	2° 31'
120	0.09	667.0	665	1° 43'	596.8	595	1° 56'

Figura 26. Radios mínimos y grados máximos de Curvas Horizontales para distintas Velocidades de Diseño. (Fuente Manual Centroamericano de diseño geométrico para carreteras regionales)

Una vez determinado las velocidades de diseño para los diferentes tramos de carretera se escogen los radios de giro para cada curva cumpliendo con los mínimos establecidos en la

figura 26 sin embargo se aumentaron los radios de giro en la medida de lo posible como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Radios de curvatura propuestos para curvas horizontales.

Curva	Radio (m)	PC	PI	PT
1	60.000m	0+021.58m	0+025.65m	0+029.72m
2	60.000m	0+051.91m	0+055.31m	0+058.71m
3	60.000m	0+113.15m	0+117.16m	0+121.16m
4	150.000m	0+194.30m	0+211.62m	0+228.79m
5	215.000m	0+298.54m	0+346.15m	0+392.26m
6	60.000m	0+536.29m	0+554.16m	0+569.34m
7	60.000m	0+610.55m	0+614.71m	0+618.85m
8	60.000m	0+670.54m	0+684.27m	0+697.53m
9	60.000m	1+153.16m	1+157.91m	1+162.63m
10	100.000m	1+368.05m	1+390.68m	1+412.56m
11	60.000m	1+475.57m	1+489.04m	1+502.07m
12	150.000m	1+630.06m	1+676.76m	1+720.60m
13	150.000m	1+968.06m	1+978.06m	1+988.02m
14	215.000m	2+315.03m	2+328.04m	2+341.02m
15	375.000m	2+643.10m	2+681.34m	2+719.31m
16	375.000m	3+081.80m	3+119.97m	3+157.88m
17	375.000m	3+266.35m	3+300.39m	3+334.23m
18	375.000m	3+436.87m	3+471.53m	3+505.99m
19	375.000m	3+555.07m	3+603.95m	3+652.28m
20	375.000m	3+910.53m	3+931.69m	3+952.81m
21	100.000m	4+045.63m	4+070.23m	4+092.32m
22	150.000m	4+188.49m	4+212.96m	4+237.00m
23	150.000m	4+453.56m	4+464.33m	4+475.07m
24	150.000m	4+584.57m	4+628.05m	4+669.21m
25	60.000m	4+717.53m	4+755.67m	4+775.51m
26	150.000m	4+818.63m	4+823.47m	4+828.31m

Velocidad de Diseño Km/h	Distancia de Parada en Bajadas (m)			Distancia de Parada en Subidas (m)		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

Figura 27. En Pendiente de Bajada y Subida. (Fuente Manual Centroamericano de diseño geométrico para carreteras regionales)

Por otra parte se pudo verificar las distancias de frenado en la carretera según lo establece el manual tal y como se presenta en la figura 27 por lo que se logró comprobar la inexistencia de obstáculos en los trayectos de vía.

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Figura 28. Decisión para Evitar Maniobras (Fuente Manual Centroamericano de diseño geométrico para carreteras regionales)

A la vez mediante las distancias mínimas de adelantamiento establecidas en el manual centroamericano se establecen los tramos de carretera en los que las distancias de visibilidad de

parada calculada y presentada en la tabla 3 cumplen, en este caso se definieron cuatro tramos estratégicamente ubicados de manera que se pueda dar fluidez al tráfico en casos inesperados.

Tabla 3. Verificación de distancias de adelantamiento en diferentes estacionamientos.

Velocidad en tramo	Distancia	Estación inicial	Estación final
40	301.020m	0+697.51m	0+998.53m
40	291.115m	0+927.04m	1+218.15m
40	362.485m	2+719.31m	3+081.80m
40	289.258m	3+652.28m	3+941.53m

Tabla 4. Cálculo de sobrehanchos.

$$S = n [R - (R^2 - L^2)^{1/2}] + 0.10V / R^{1/2}$$

S (m)	3.97
n	2
L (m)	14.3
R (m)	60
V (m/seg)	40

S = Valor sobrehancho, metros

n = Número de carriles de la superficie de rodamiento

L = Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, r

R = Radio de curvatura, metros

V = Velocidad de diseño de la carretera, kilómetros por hora

Se calculó el sobrehancho para la curva vertical número 6 en la cual hay una situación especial por el ingreso al puente por lo que se obtuvo un valor de 3.97m de sobrehancho tal como se presenta en la tabla 4

Según los cálculos realizados en base a las ecuaciones del manual centroamericano, se pudieron definir las longitudes mínimas de curvas verticales como está indicado en la tabla 6, en base a estos resultados se tomaron los parámetros mínimos para el diseño de las curvas presentados en la tabla 7.

Tabla 6. Cálculo de longitudes mínimas de curvas verticales.

Curva	tipo	S (m)	G	L (m)
1	Columpio	45	8.06	58.8
2	Cresta	45	-8.37	78.0
3	Columpio	45	5.45	39.8
4	Cresta	45	-6.57	59.0
5	Columpio	45	5.16	37.7
6	Cresta	45	-3.95	101.0
7	Cresta	45	-3.08	102.0
8	Columpio	45	3.21	23.4
9	Cresta	45	-4.64	96.0
10	Columpio	45	5.8	42.3
11	Cresta	45	-5.32	89.0
12	Columpio	45	1.95	14.2
13	Cresta	45	-8.29	93.0
14	Columpio	45	10.35	75.5

Por otra parte se pudieron calcular las longitudes de espiral para la misma curva como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de longitud de espirales.

$$Le = 0.0702 V^3 / (R * C) \text{ (Sistema métrico)}$$

Donde:

V = Velocidad en kilómetros por hora

R = Radio central de la curva, en metros

C = Tasa de incremento de la aceleración centrífuga

Le (m)	37.44
V (m/seg)	40
R (m)	60
C	2
le/3 (m)	12.48
2Le/3 (m)	24.96

(entre 1 y 3)

Tabla 7. Características geométricas de curvas verticales.

No.	Estación PVI	Elevación PVI	Pendiente 1	Pendiente 2	Tipo	K	L (m)	Radio
1	0+039.31m	1345.053m	1.03%	9.09%	Columpio	7.442	60.000m	744.170m
2	0+110.69m	1351.540m	9.09%	0.72%	Cresta	9.554	80.000m	955.427m
3	0+413.78m	1353.710m	0.72%	6.17%	Columpio	18.319	100.000m	1831.903m
4	0+539.28m	1361.459m	6.17%	-0.40%	Cresta	9.120	60.000m	912.010m
5	0+878.30m	1360.088m	-0.40%	4.76%	Columpio	19.374	100.000m	1937.374m
6	1+194.69m	1375.139m	4.76%	0.81%	Cresta	25.336	100.000m	2533.571m
7	2+126.98m	1382.693m	0.81%	-2.27%	Cresta	32.452	100.000m	3245.214m
8	2+292.53m	1378.933m	-2.27%	0.94%	Columpio	31.180	100.000m	3117.981m
9	2+642.29m	1382.207m	0.94%	-3.70%	Cresta	21.556	100.000m	2155.625m
10	3+065.00m	1366.553m	-3.70%	2.10%	Columpio	25.828	150.000m	2582.821m
11	3+995.35m	1386.133m	2.10%	-3.22%	Cresta	18.773	100.000m	1877.319m
12	4+320.67m	1375.651m	-3.22%	-1.27%	Columpio	51.157	100.000m	5115.726m
13	4+681.23m	1371.081m	-1.27%	-9.56%	Cresta	12.064	100.000m	1206.360m
14	4+951.18m	1345.283m	-9.56%	0.79%	Columpio	8.696	90.000m	869.599m

Diseño hidrológico e hidráulico

obtiene una intensidad de lluvia de 50 mm por hora.

Inicialmente se define la ubicación del proyecto para de esta forma ingresar al mapa de isoyetas presentado en la figura 29, de la cual se

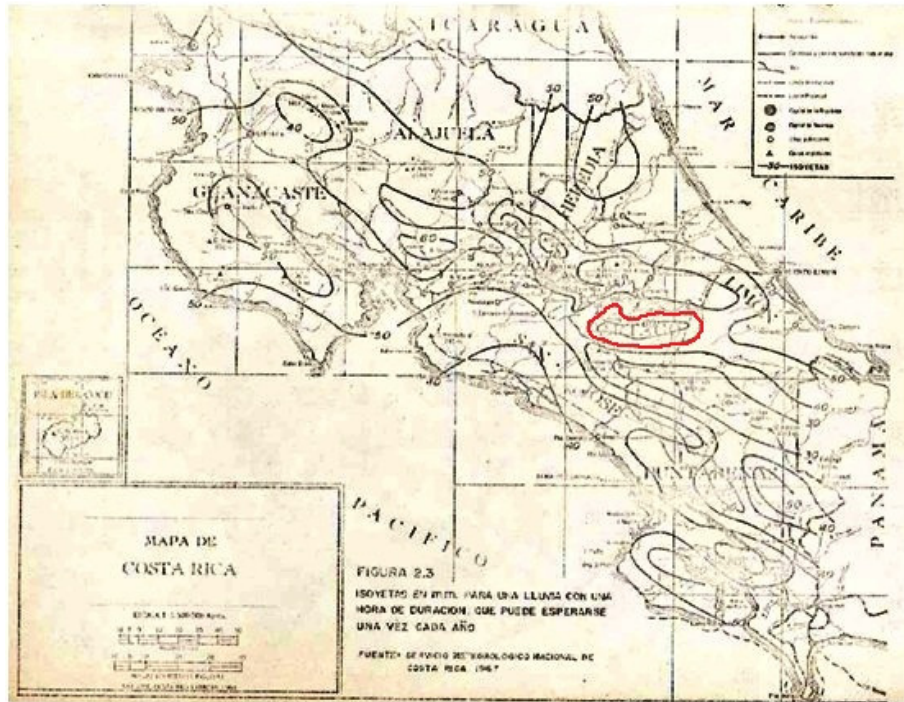


Figura 29. Mapa de Costa Rica con isoyetas para todo el territorio.

Una vez identificada la intensidad de lluvia de la zona mediante las isoyetas se procede a realizar el cálculo de las áreas de influencia para cada alcantarilla propuesta, como para las cunetas igualmente propuestas. Para este cálculo de áreas de influencia se utilizaron imágenes obtenidas del programa google earth, las cuales al ser exportadas a el programa Autocad Civil 3D

arrastran información de curvas de nivel, mediante las cuales con opciones del programa se pueden proyectar las cuencas y direcciones de flujo de agua. Los valores de áreas de influencia para alcantarillas son presentadas en la tabla 8 mientras que para cunetas son las propuestas en la tabla 9.

Tabla 8. Áreas de influencia y tiempos de concentración para el diseño de alcantarillas.

Número de alcantarilla	Área de influencia (m ²)	Longitud cuenca (m)	Diferencia de elevación cuenca (m)	Tiempo de Concentración (min)
1	66815	839	28	12.877
2	107944	775	28	11.750
3	65154	735	24.5	11.635
4	117842	535	12	10.612
5	29617	242	9	4.742
6	147890	588	23	9.213
7	24115	360	16	6.011
8	34830	285	15	4.705
9	54044	454	16	7.859
10	72203	412	14	7.396
11	9765	198	8.5	3.845
12	37434	378	11	7.347
13	33825	315	8.5	6.573
14	29841	347	7.5	7.713
15	17137	227	5	5.523
16	26464	295	7	6.566
17	41810	50	1	1.788
18	14820	93	1.5	3.132
19	7311	106	1.5	3.643
20	8589	100	1	3.981
21	14287	87	2	2.596
22	15610	97	5	2.068
23	28758	166	8	3.210
24	23761	270	15	4.420
25	36995	280	23	3.911

Tabla 9. Áreas de influencia y tiempos de concentración para diseño de cunetas.

Número de cuneta	Área de influencia (m ²)	Destino de desfogue	Longitud cuenca (m)	Diferencia de elevación cuenca (m)	Tiempo de Concentración (min)
1	62930.000	rio toyogres	440.000	14.500	7.872
2	66815.000	alcantarilla 1	839.000	28.000	12.877
3	107944.000	alcantarilla 2	775.000	28.000	11.750
4	65154.000	alcantarilla 3	735.000	24.500	11.635
5	38197.000	rio blanquillo	406.000	11.000	7.979
6	16842.000	rio blanquillo	218.000	8.500	4.297
7	117842.000	alcantarilla 4	535.000	12.000	10.612
8	29617.000	alcantarilla 5	242.000	9.000	4.742
9	147890.000	alcantarilla 6	588.000	23.000	9.213
10	24115.000	alcantarilla 7	360.000	16.000	6.011
11	34830.000	alcantarilla 8	285.000	15.000	4.705
12	54044.000	alcantarilla 9	454.000	16.000	7.859
13	72203.000	alcantarilla 10	412.000	14.000	7.396
14	9765.000	alcantarilla 11	198.000	8.500	3.845
15	37434.000	alcantarilla 12	378.000	11.000	7.347
16	33825.000	alcantarilla 13	315.000	8.500	6.573
17	29841.000	alcantarilla 14	347.000	7.500	7.713
18	17137.000	alcantarilla 15	227.000	5.000	5.523
19	26464.000	alcantarilla 16	295.000	7.000	6.566
20	37698.000	alcantarilla 17	275.000	11.500	5.001
21	4112.000	alcantarilla 17	50.000	1.000	1.788
22	14820.000	alcantarilla 18	93.000	1.500	3.132
23	7311.000	alcantarilla 19	106.000	1.500	3.643
24	8589.000	alcantarilla 20	100.000	1.000	3.981
25	14287.000	alcantarilla 21	87.000	2.000	2.596
26	15610.000	alcantarilla 22	97.000	5.000	2.068
27	28758.000	alcantarilla 23	166.000	8.000	3.210
28	23761.000	alcantarilla 24	270.000	15.000	4.420
29	39995.000	alcantarilla 25	280.000	23.000	3.911

Después de realizar el cálculo de las áreas de cuenca se ingresa al nomograma presentado en la figura 30, con el cual para un periodo de diseño de 25 años y el valor de intensidad de lluvia de 50 mm por hora se logra obtener el valor de lluvia máxima con intensidad de una hora, el cual arroja un valor de 112 mm por hora.

El paso a seguir es cálculo de del tiempo de concentración para cada cuneta o alcantarilla, el cual es el tiempo que dura una gota de agua en

llegar desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto de captación del sistema de drenaje. Este cálculo se realiza mediante la ecuación 15, la cual está en función de la longitud de cuenca y diferencia de elevación de la misma, de este modo se obtiene cada tiempo de concentración para cada sistema de drenaje en particular, obteniendo valores de tiempos de concentración para las cuencas que afectan a las alcantarilla como se

presenta en la tabla 8, mientras que para las cunetas son las presentadas en la tabla 9.

Ecuación 15. Tiempo de concentración

En donde:

L: longitud del cauce principal, (m)

h: diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, (m)

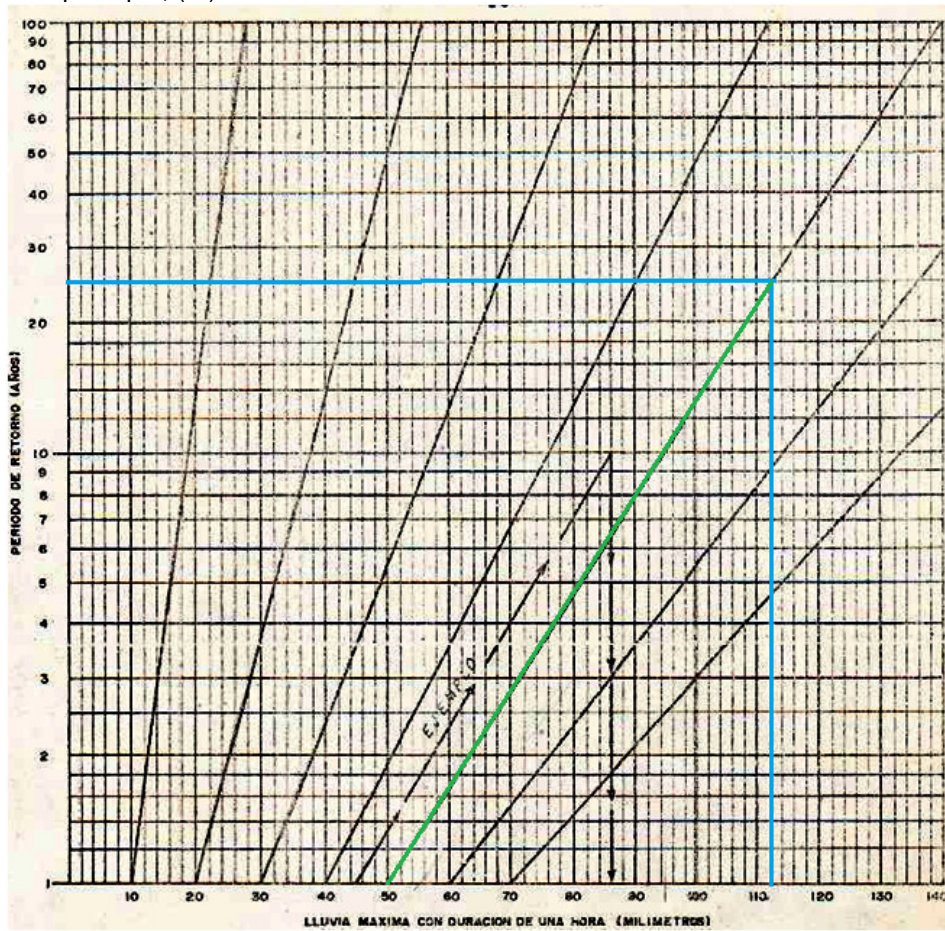


Figura 30. Nomograma para determinar la lluvia máxima con duración de una hora.

Mediante los valores de lluvia máxima con duración de una hora como de tiempos de concentración se realiza el cálculo de la tormenta de diseño mediante el gráfico presentado en la

figura 31 para cada alcantarilla y cuneta según los tiempos de concentración calculados previamente.

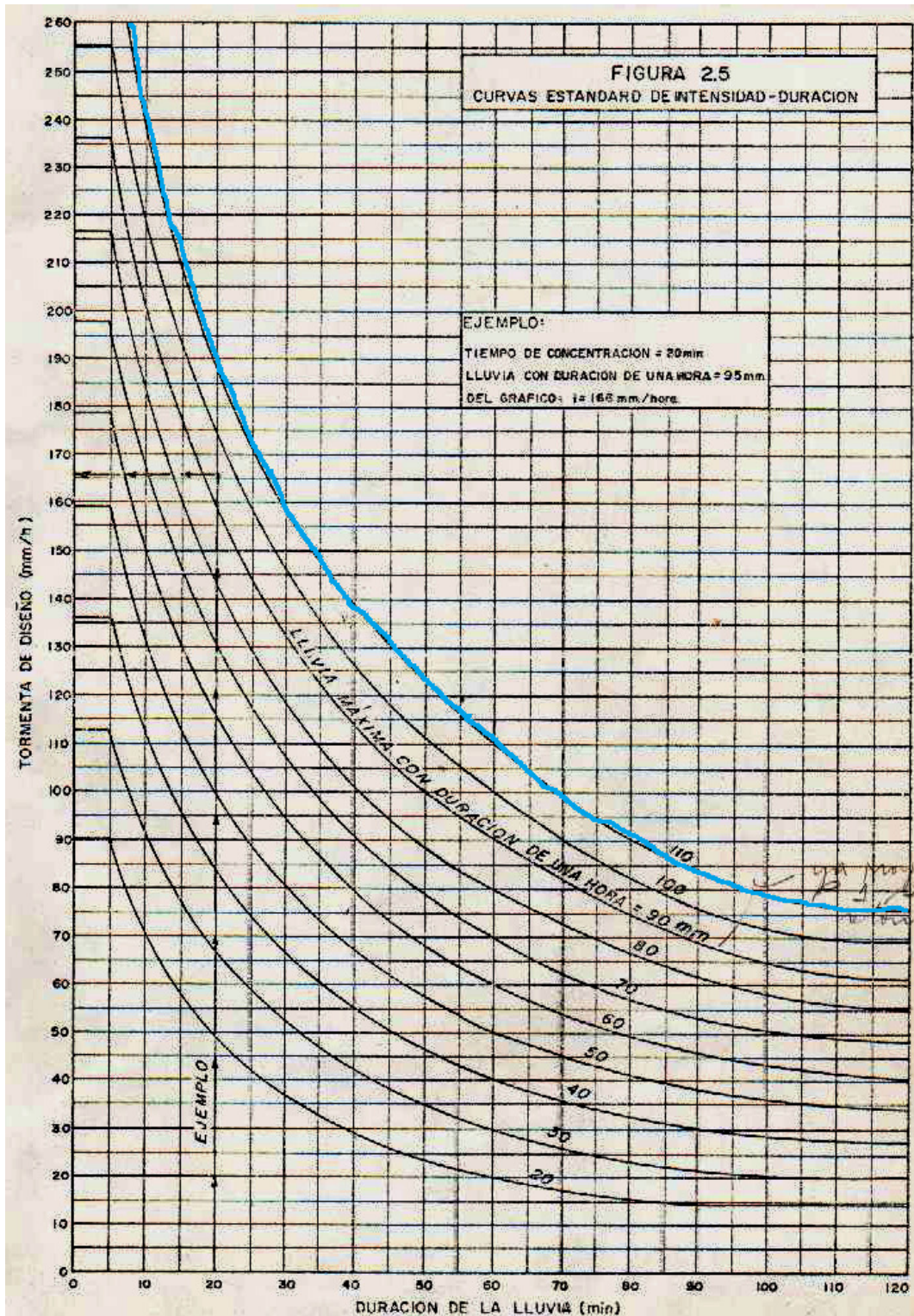


Figura 31. Nomograma para determinar la tormenta máxima de diseño.

Con los datos obtenidos con anterioridad se puede determinar el caudal de diseño por el método racional para cada drenaje mediante la ecuación 16. Estos caudales para alcantarillas son presentados en la tabla 10, mientras que para las cunetas están presentados en la tabla 11.

$$Q = C * i * A$$

Ecuación 16. Ecuación del método racional

Tabla 10. Caudales para las alcantarillas de diseño.

Número de alcantarilla	Lluvia máxima en una hora	Tormenta de diseño (mm/h)	Proyeccion uso suelo		C uso: 0,6 techos; 0,4 cultivos; 0,15 pastizales; 0,1 bosque	Caudal (m3/seg)
			% urbanizado	% zona verde		
1	112	214	50.00%	50.00%	0.375	1.489
2	112	214	50.00%	50.00%	0.375	2.406
3	112	228	35.00%	65.00%	0.470	1.939
4	112	208	20.00%	80.00%	0.240	1.634
5	112	233	35.00%	65.00%	0.470	0.901
6	112	245	30.00%	70.00%	0.250	2.516
7	112	245	5.00%	95.00%	0.125	0.205
8	112	265	15.00%	85.00%	0.218	0.558
9	112	245	45.00%	55.00%	0.353	1.296
10	112	237	50.00%	50.00%	0.375	1.783
11	112	245	50.00%	50.00%	0.375	0.249
12	112	260	30.00%	70.00%	0.285	0.771
13	112	265	30.00%	70.00%	0.285	0.710
14	112	265	30.00%	70.00%	0.285	0.626
15	112	265	30.00%	70.00%	0.285	0.360
16	112	265	30.00%	70.00%	0.285	0.555
17	112	265	35.00%	65.00%	0.308	0.946
18	112	265	50.00%	50.00%	0.500	0.545
19	112	265	45.00%	55.00%	0.490	0.264
20	112	265	50.00%	50.00%	0.500	0.316
21	112	265	45.00%	55.00%	0.353	0.371
22	112	265	45.00%	55.00%	0.353	0.405
23	112	265	45.00%	55.00%	0.490	1.037
24	112	265	50.00%	50.00%	0.500	0.875
25	112	265	25.00%	75.00%	0.450	1.225

Tabla 11. Caudales para las cunetas de diseño.

Número de cuneta	Lluvia máxima en una hora	Tormenta de diseño (mm/h)	Proyeccion uso suelo		C uso: 0,6 techos; 0,4 cultivos; 0,15 pastizales; 0,1 bosque	Caudal (m3/seg)
			% urbanizado	% zona verde		
1	112.000	240.000	65.00%	35.00%	0.443	1.846
2	112.000	216.000	50.00%	50.00%	0.375	1.503
3	112.000	220.000	50.00%	50.00%	0.375	2.474
4	112.000	220.000	35.00%	65.00%	0.470	1.871
5	112.000	240.000	40.00%	60.00%	0.330	0.840
6	112.000	265.000	25.00%	75.00%	0.263	0.325
7	112.000	225.000	20.00%	80.00%	0.240	1.768
8	112.000	265.000	35.00%	65.00%	0.470	1.025
9	112.000	238.000	30.00%	70.00%	0.250	2.444
10	112.000	250.000	5.00%	95.00%	0.125	0.209
11	112.000	265.000	15.00%	85.00%	0.218	0.558
12	112.000	240.000	45.00%	55.00%	0.353	1.270
13	112.000	245.000	50.00%	50.00%	0.375	1.843
14	112.000	265.000	50.00%	50.00%	0.375	0.270
15	112.000	250.000	30.00%	70.00%	0.285	0.741
16	112.000	255.000	30.00%	70.00%	0.285	0.683
17	112.000	240.000	30.00%	70.00%	0.285	0.567
18	112.000	260.000	30.00%	70.00%	0.285	0.353
19	112.000	250.000	30.00%	70.00%	0.285	0.524
20	112.000	265.000	35.00%	65.00%	0.308	0.853
21	112.000	265.000	5.00%	95.00%	0.173	0.052
22	112.000	265.000	50.00%	50.00%	0.500	0.545
23	112.000	265.000	45.00%	55.00%	0.490	0.264
24	112.000	265.000	50.00%	50.00%	0.500	0.316
25	112.000	265.000	45.00%	55.00%	0.353	0.371
26	112.000	265.000	45.00%	55.00%	0.353	0.405
27	112.000	265.000	45.00%	55.00%	0.490	1.037
28	112.000	265.000	50.00%	50.00%	0.500	0.875
29	112.000	265.000	20.00%	80.00%	0.440	1.295

El diseño de alcantarillas se fundamenta en el cálculo de la ecuación 17. En la que el valor de n de Manning para elementos de concreto se consideró de 0.11. El valor de A es el área transversal de la alcantarilla en función de su diámetro "d". El radio hidráulico "R" igualmente está en función del diámetro "d", el cual es el parámetro buscado en el diseño, además la pendiente de diseño "S" será de 1.5% para las alcantarillas propuestas.

$$Q = \left[A * R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right] / n$$

Ecuación 17. Ecuación de Manning.

La forma de obtener el valor del diámetro requerido es iterando al variar el valor de "d" hasta obtener un valor como máximo de 0.3 para la primera parte de la ecuación 18, de manera que se pueda comparar con los valores propuestos en la figura 32. En la cual se consideran pertinentes valores de "y/d" entre el 62% y el 76% teniendo este último valor el límite de tirante permitido con un valor en la segunda parte de la ecuación de 0.3 tal como se presenta en la figura 32.

$$[Q * n] / \left[S^{\frac{1}{2}} * d^{8/3} \right] = \left[A * R^{\frac{2}{3}} \right] / d^{8/3}$$

Ecuación 18. Correlación de ecuación de Manning.

$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD1/2}{d5/2}$	$\frac{AR2/3}{d8/3}$	θ
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1248	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

Figura 32. Valores de "Y/d" en base a las propiedades geométricas de tubería de concreto.

El cálculo iterativo se realizó mediante la utilización del programa Microsoft Excel mediante el cual se obtuvieron los valores de los diámetros necesarios para cubrir la demanda de caudal en cada alcantarilla. En la tabla 12 se detalla la verificación de tirantes para proporcionar una

utilización al periodo de retorno no mayor al 76% cumpliendo con valores obtenidos por medio de la ecuación 16 que no superan el valor de 0.3.

Tabla 12. Verificación de tirantes en alcantarillas.

Caudal (m3/seg)	n	S (pendiente)	D propuesto	$(A \cdot R^{(2/3)}) / (D^{(8/3)}) \leq 0.3$
1.489	0.011	1.50%	0.800	0.243
2.406	0.011	1.50%	0.900	0.286
1.939	0.011	1.50%	0.900	0.231
1.634	0.011	1.50%	0.800	0.266
0.901	0.011	1.50%	0.800	0.147
2.516	0.011	1.50%	0.900	0.299
0.205	0.011	1.50%	0.800	0.033
0.558	0.011	1.50%	0.800	0.091
1.296	0.011	1.50%	0.800	0.211
1.783	0.011	1.50%	0.800	0.290
0.249	0.011	1.50%	0.800	0.041
0.771	0.011	1.50%	0.800	0.125
0.710	0.011	1.50%	0.800	0.116
0.626	0.011	1.50%	0.800	0.102
0.360	0.011	1.50%	0.800	0.059
0.555	0.011	1.50%	0.800	0.090
0.946	0.011	1.50%	0.800	0.154
0.545	0.011	1.50%	0.800	0.089
0.264	0.011	1.50%	0.800	0.043
0.316	0.011	1.50%	0.800	0.051
0.371	0.011	1.50%	0.800	0.060
0.405	0.011	1.50%	0.800	0.066
1.037	0.011	1.50%	0.800	0.169
0.875	0.011	1.50%	0.800	0.142
1.225	0.011	1.50%	0.800	0.200

El diseño de cunetas se realizó mediante cálculos iterativos a partir de un tirante inicial propuesto despejado de la ecuación 19.

$$Q = \left[A \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right] / n$$

Ecuación 19. Ecuación de Manning.

De esta forma se pudieron obtener los valores de tirante “y” plasmados en la tabla 13

Tabla 13. Verificación de tirantes en cunetas.

Sección triangular				
z	x	y (m)	Area (m2)	V (m/s)
6.000	0.500	0.171	0.175	10.579
5.000	0.500	0.257	0.329	4.568
5.000	0.500	0.268	0.360	6.869
6.000	0.500	0.166	0.166	11.290
6.000	0.500	0.214	0.274	3.065
6.000	0.500	0.072	0.031	10.332
6.000	0.500	0.164	0.161	10.966
6.000	0.500	0.186	0.207	4.949
6.000	0.500	0.229	0.314	7.784
6.000	0.500	0.079	0.037	5.662
6.000	0.500	0.127	0.097	5.765
6.000	0.500	0.188	0.213	5.958
6.000	0.500	0.202	0.246	7.501
6.000	0.500	0.072	0.031	8.571
6.000	0.500	0.167	0.167	4.435
6.000	0.500	0.180	0.194	3.519
6.000	0.500	0.092	0.051	11.218
6.000	0.500	0.063	0.024	14.666
6.000	0.500	0.081	0.040	13.208
6.000	0.500	0.121	0.087	9.778
6.000	0.500	0.027	0.004	12.319
6.000	0.500	0.100	0.060	9.114
6.000	0.500	0.065	0.025	10.451
6.000	0.500	0.072	0.031	10.279
6.000	0.500	0.072	0.031	11.922
6.000	0.500	0.081	0.039	10.339
6.000	0.500	0.154	0.142	7.293
6.000	0.500	0.115	0.080	10.940
6.000	0.500	0.112	0.075	17.276

Sin embargo por cuestiones el valor de tirante propuesto para cada sección de cuneta debe ser excedido al menos en 15cm para evitar sobresaltos de agua debido a obstrucciones en la sección de cuneta o cualquier otra situación que provoque esta consecuencia.

Además por cuestiones constructivas las dimensiones de las cunetas serán como mínimo de 1m de ancho por 0.5m de tirante.

Diseño Pavimento flexible primer tramo (2+300 - 4+998)

Para este caso en particular el diseño del pavimento flexible se realizó mediante la implementación de la metodología estipula en guía AASHTO que está presentada en manual centroamericano de diseño de pavimentos y con la cual se puede establecer el tipo de pavimento a utilizar dependiendo del tipo y cantidad de tránsito que interactúa en la ruta, así como también el respectivo análisis de costo que involucra el proyecto en la inversión inicial como también durante su mantenimiento en toda su vida útil.

De este modo, y con los datos de TPDa obtenidos mediante conteos vehiculares, así como los datos de tránsito facilitados por el departamento de planificación sectorial del MOPT se realiza el cálculo de los ejes equivalentes de 18 toneladas a partir de los factores equivalentes de carga presentados en la tabla 14 y los índices de serviciabilidad inicial y final que se proponen en el diseño, para este caso el índice de serviciabilidad inicial será de 4.2 mientras que el índice de serviciabilidad final es de 2, dando como resultado un perdida de serviciabilidad de 2.2.

El periodo de diseño para este diseño está considerado de veinte años, mientras que el porcentaje de crecimiento anual será del 4% anual según lo estima el departamento de planificación sectorial.

La distribución vehicular igualmente fue facilitada por el departamento de planificación sectorial según los datos de campo que proporcione el mismo.

Para el cálculo de los factores camión que se emplearon en la determinación de los ejes equivalentes, se acudió al departamento de pesos y dimensiones del MOPT, quienes facilitaron la distribución de cargas permitidas por ejes para cada vehículo según normativa vigente.

Tabla 14. Factores camión para pavimentos flexibles.

Pavimento Flexible			
Tipo de vehiculo	Ton por eje	Kips	Factor camion
C-2+			
Delantero	1	2.2046	0.00038
Trasero	1	2.2046	0.00038
Σ (total)			0.00076
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	10	22.046	2.33346
Σ (total)			2.61896
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Σ (total)			1.7294
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	23	50.7058	1.277668
Σ (total)			1.563168
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Arrastre	16.5	36.3759	1.4439
Σ (total)			3.1733

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 ó más	40

Figura 33. Factor de dirección (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

No. de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 kN en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Figura 34. Factor de carril (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Tabla 15. Calculo de ESAL's para diseño de pavimentos flexibles.

Po	4.2
Pt	2
n (años)	20
Periodo análisis (años)	20
TPDa	3170
i	4.00%
ΔPSI	2.2

Tipo de Vehículo	% de vehic.	TPDa actual	(%) Tasa crecim.	Crecim.	Tránsito de diseño	ESAL's (factor)	ESAL's (diseño)
A	B	C=TPDa	D	E	F=CxEx365	G	H=FxG
Veh. Liviano	66.72%	2115.0	4.00%	29.8	22988193.1	0.001	17.661.37
Carga Liviana	18.94%	600.4	4.00%	29.8	6525725.1	2.619	17.090.642.95
Autobus	4.33%	137.3	4.00%	29.8	1491889.6	2.619	3.907.206.12
Dos ejes	7.71%	244.4	4.00%	29.8	2656459.4	1.729	4.594.101.01
Tres Ejes	1.76%	55.8	4.00%	29.8	606403.2	1.563	947.894.63
Cinco ejes	0.54%	17.1	4.00%	29.8	186055.5	3.173	590.411.95

Σ ESAL's	27.147.918.03
Factor de direc.	0.5
Factor de carril	1
ESAL's Total	13.573.959.02

Los espesores de los estratos de la estructura de pavimento pueden variar dependiendo de la configuración que se escoja como también de la calidad que presenten los materiales, por ello la verificación de las capacidades de soporte que presentan los materiales es de vital importancia para dar inicio al diseño.

En este caso, la inexistencia de datos de laboratorio que proporcionen datos de sitio respecto a las características de los materiales hace que se tomen valores mínimos para iniciar

con el diseño por lo que se establecen valores tal y como se presenta en la tabla 16.

Tabla 16. Valores mínimos de CBR para las capas de la estructura de pavimento

Material	CBR
Subrasante	5
Subbase	30
base	80

Una vez tomados los valores anteriores como premisa de diseño se procede a realizar las correlaciones correspondientes para el cálculo de

espesores de los diferentes componentes de la estructura.

Con un valor de CBR de 5 para la subrasante, se ingresa a la figura 35 para correlacionarlo con el valor de Módulo resiliente que para este caso corresponde a un valor de 5762 Psi, tal como se presenta en la tabla 17.

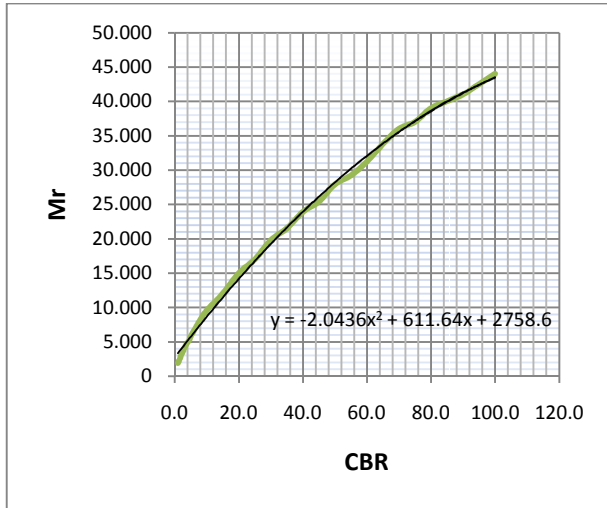


Figura 35. Correlación del módulo resiliente de la subrasante con su valor de CBR

Tabla 17. Propiedades de capacidad de carga para la subrasante

CBR	5
Mr (Psi)	5765.71
Mr (Mpa)	39.7531694

Una vez obtenido este valor se procede a realizar el mismo cálculo para la subbase. Se ingresa al nomograma que relaciona el valor de CBR con módulo de resiliencia para la subbase presentado en la figura 33, en este caso con un valor de CBR de 30, el valor de coeficiente estructural “a” y el valor de Módulo de resiliencia relacionado a este valor se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Propiedades de capacidad de carga para la subbase.

CBR	30
a	0.108
Mr (Psi)	15252.318
Mr (Mpa)	105.1610274

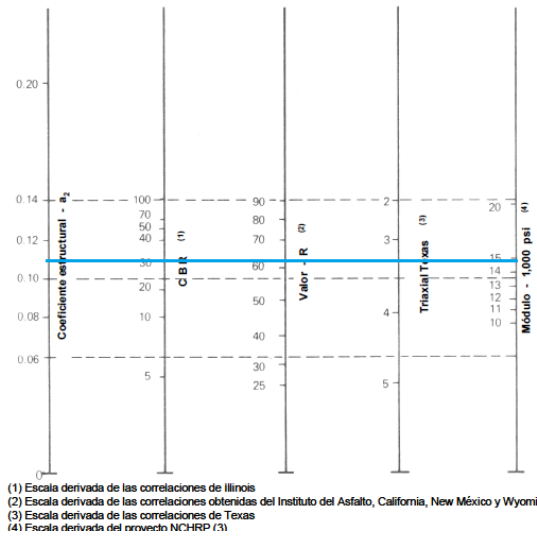
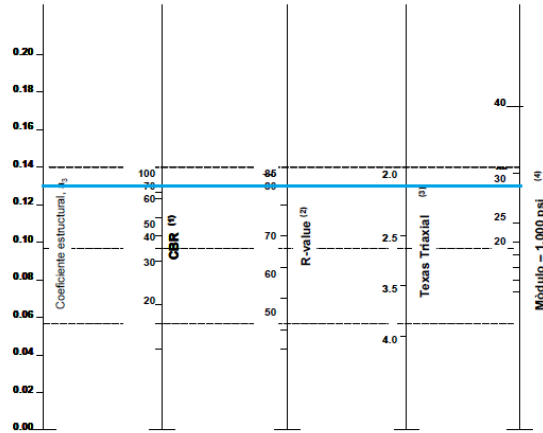


Figura 36. Correlación del módulo resiliente de la subbase con su valor de CBR (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Obtenidos estos valores se procede a realizar el cálculo de estos valores ahora para la estructura de base, en la cual se asocian el valor de coeficiente estructural y módulo resiliente para el respectivo valor de CBR según el nomograma presentado en la figura 36. De esta forma se obtienen los datos presentados en la tabla 19.

Tabla 19. Propiedades de capacidad de carga para la base

CBR	80
a	0.135
Mr (Psi)	28194.839
Mr (Mpa)	194.396562



- (1) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de California, New México y Wyoming
- (3) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Texas
- (4) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Figura 37. Correlación del módulo resiliente de la base con su respectivo valor de CBR. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Con valores del módulo de elasticidad o elasticidad Marshall del concreto asfáltico se puede obtener el coeficiente estructural asociado a este dado, obtenido a partir de la figura 38. Este valor es presentado en la tabla 20.

Tabla 20. Propiedades de capacidad de carga para la carpeta asfáltica

Eac (Psi)	411000
a	0.42270445

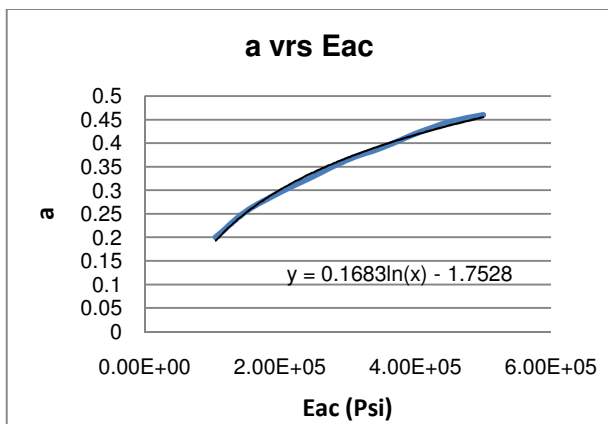


Figura 38. Correlación la estabilidad Marshall vrs el coeficiente estructural.

Después de obtener los aportes estructurales de cada capa representados con la letra "a" para cada estrato, se escogen los valores

de coeficientes de drenaje para la base y subbase, los cuales serán los que se presenten en la tabla resumen 21.

Tabla 21. Resumen de propiedades de los estratos de la estructura e pavimento.

Material	Mr (Mpa-psi)	a _i	m _i
Capa Asfáltica	2830 (411000)	0.422	-
Base	194 (28194)	0.135	0.9
Subbase	105 (15252)	0.108	0.8
Subrasante	39.7 (5765)	-	-

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

Figura 39. Niveles de confiabilidad para el tipo de carretera. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z _r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Figura 40. Desviación normal estándar. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Tabla 22. Conjunto total de las desviaciones estándar (So)

Condición	Valor
Para pavimentos flexibles	0.40-0.50
En construcción nueva	0.35-0.40
En sobre capas	0.50

Considerando el valor del logaritmo en base diez del número de ESAL's total presentado en la tabla 15, el módulo resiliente de la subrasante, la pérdida de serviciabilidad de la estructura, la desviación normal estándar Z_r y el conjunto de desviaciones estándar S_o . se procede a iterar los valores del número estructural general mediante la ecuación general 20, en el programa Microsoft Excel, de esta forma se logra obtener el valor mínimo de número estructural que deben de cumplir las sumatoria de los aportes estructurales de cada estrato tal y como se presenta en la tabla 24.

Además se presenta el aporte estructural de la subbase, base, y carpeta, según módulos resilientes y características ya mencionadas para cada estrato, resultando los espesores de capas presentados en la tabla 25.

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

Ecuación 20. Ecuación de diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO

Tabla 23. Aportes estructurales de cada estrato.

Carpeta		Base		Subbase	
SN1	2.988033963	SN2	3.599260377	SN3	1.081251009
d1	17.9548766	d2	23.13408597	d3	31.8058247
d1* (usado)	15 cm	d2* (usado)	25 cm	d3* (usado)	35 cm
SN1*	2.496286131	SN2*	1.191936271	SN3*	1.189838204

Tabla 24. Comparación de capacidades estructurales mínima y propuesta.

SN General	≤	SN1*+SN2*+SN3*
4.769473411	≤	4.878060605

Tabla 25. Resumen de espesores de estratos para pavimento flexible en primer tramo.

Estrato	Espesor
carpeta	15 cm
base	25 cm
subbase	35 cm
total estructura	75 cm

Los espesores obtenidos son comparados con los mínimos establecidos en el manual centroamericano de diseño de pavimentos en la tabla 26, para los cuales se cumple satisfactoriamente.

Tabla 26. Valores mínimos de capas estructurales.

Número de ESAL's	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50000	3.0 cm	10 cm
50000-150000	5.0 cm	10 cm
150000-500000	6.5 cm	10 cm
500000-2000000	7.5 cm	15 cm
2000000-7000000	9.0 cm	15 cm
Más de 7000000	10.0 cm	15 cm

Diseño Pavimento flexible segundo tramo (0+000 - 2+300)

Para el segundo tramo, la cantidad de tránsito vehicular es menor por lo que la estructura de pavimentos tendrá un menor espesor. El diseño tendrá las mismas características del diseño para el primer tramo, y lo único que cambia es la cantidad de ejes equivalentes en la estructura, por lo que se omiten las tablas anteriormente citadas y únicamente se presentarán las tablas de resultados de espesores y números estructurales calculados.

Tabla 27. Cálculo de ESAL's. segundo tramo

Po	4.2
Pt	2
n (años)	20
Periodo análisis (años)	20
TPDa	869
i	4.00%
ΔPSI	2.2

Tipo de Vehículo	% de vehic.	TPDa actual	(%) Tasa crecim.	Crecim.	Tránsito de diseño	ESAL 's (factor)	ESAL 's (diseño)
A	B	C=TPDa	D	E	F=CxEx365	G	H=FxG
Veh. Liviano	66.72%	579.8	4.00%	29.8	6301810.7	0.001	4841.6
Carga Liviana	18.94%	164.6	4.00%	29.8	1788913.3	2.619	4685100.5
Autobus	4.33%	37.6	4.00%	29.8	408975.4	2.619	1071092.2
Dos ejes	7.71%	67.0	4.00%	29.8	728221.8	1.729	1259392.4
Tres Ejes	1.76%	15.3	4.00%	29.8	166234.8	1.563	259848.7
Cinco ejes	0.54%	4.7	4.00%	29.8	51003.9	3.173	161851.1

Σ ESAL 's	7442126.43
Factor de direc.	0.5
Factor de carril	1
ESAL 's Total	3721063.21

Tabla 28. Aportes estructurales de cada estrato.

Carpeta		Base		Subbase	
SN1	2.497619077	SN2	3.041006402	SN3	1.112990402
d1	15.00800958	d2	21.89667189	d3	32.73946319
d1* (usado)	12 cm	d2* (usado)	20 cm	d3 *(usado)	35 cm
SN1*	1.997028904	SN2*	0.953549017	SN3*	1.189838204

Tabla 29. Comparación de capacidades estructurales mínima y propuesta.

SN General	≤	SN1*+SN2*+SN3*
4.063568323	≤	4.140416125

Tabla 30. Espesores de estratos para pavimento flexible segundo tramo.

Estrato	Espesor
carpeta	12 cm
base	20 cm
subbase	35 cm
total estructura	67 cm

En base a las cantidades de ejes equivalentes calculados y los espesores de capa propuestos se determinaron los aportes estructurales de cada estrato presentado en la tabla 28. La sumatoria de aportes estructurales es mayor que la requerida para la cantidad de cargas exigidas tal y como se presenta en la tabla 29. Los espesores de capas están presentados en la tabla 30.

Pavimento Rígido para primer tramo (2+300 - 4+998)

El diseño del pavimento rígido, al igual que el flexible, está asociado a una serie de variantes y criterios que hacen particular cada diseño. Para el siguiente caso se realizará el diseño de pavimento rígido según la metodología establecida en el manual centroamericano de diseño de pavimentos, iniciando con el cálculo de ejes equivalentes para 8.2 toneladas métricas, que para este caso se tomo el factor de carril marcado en la tabla 38, el factor de dirección de carril en la figura 41 y los factores equivalentes de carga según los cálculos presentados en la tabla 31.

Tabla 31. Factores camión para pavimentos flexibles.

Pavimento Rígido			
Tipo de vehiculo	Ton por eje	Kips	Factor camion
C-2+			
Delantero	1	2.2046	0.00038
Trasero	1	2.2046	0.00038
Σ (total)			0.00076
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	10	22.046	2.33346
Σ (total)			2.6995794
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Σ (total)			2.9080964
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	23	50.7058	1.277668
Σ (total)			3.5416734
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Arrastre	16.5	36.3759	1.4439
Σ (total)			5.5421434

Dando como resultado un número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas de 16282958.55, tal y como se presenta en la tabla 32.

$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \text{Log}_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{4.6}}} + (4.22 - 0.32P) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_i C_{dk} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Ecuación 21. Ecuación de diseño de pavimentos rígidos por el método AASHTO

Tabla 32. Cálculo de ESAL's pavimento rígido primer tramo.

Po	4.2
Pt	2
n (años)	20
Periodo análisis (años)	20
TPDa	3170
i	4.00%
ΔPSI	2.2

Tipo de Vehículo	% de vehic.	TPDa actual	(%) Tasa crecim.	Crecim.	Tránsito de diseño	ESAL's (factor)	ESAL's (diseño)
A	B	C=TPDa	D	E	F=CxEx365	G	H=FxG
Veh. Liviano	66.72%	2115.0	4.00%	29.8	22988193.1	0.001	17661.4
Carga Liviana	18.94%	600.4	4.00%	29.8	6525725.1	2.700	17616713.0
Autobus	4.33%	137.3	4.00%	29.8	1491889.6	2.700	4027474.5
Dos ejes	7.71%	244.4	4.00%	29.8	2656459.4	2.908	7725239.9
Tres Ejes	1.76%	55.8	4.00%	29.8	606403.2	3.542	2147682.0
Cinco ejes	0.54%	17.1	4.00%	29.8	186055.5	5.542	1031146.4

Σ ESAL's	32565917.11
Factor de direc.	0.5
Factor de carril	1
ESAL's Total	16282958.55

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 ó más	40

Figura 41. Factor de carril (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

No. de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 kN en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Figura 42. Factor de dirección (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Una vez obtenido el valor de número de ESAL's, se procede a la escogencia del nivel de confiabilidad mediante la figura 43. Cálculo de desviación estándar en la figura 44. Conjunto de desviaciones estándar en la tabla 33. Calidad de drenaje mediante la figura 45, y el respectivo valor de coeficiente de drenaje presentado en la figura 46. Se calculan los valores de coeficiente de transmisión de carga J dados en la figura 47.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

Figura 43. Nivel de confiabilidad (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z _r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Figura 44. Desviación normal estándar (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Tabla 33. Conjunto total de las desviaciones estándar (So) (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Condición	Valor
Para pavimentos rígidos	0.30-0.40
En construcción nueva	0.35
En sobre capas	0.40

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Figura 45. Calidad de drenaje (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Figura 46. Valores de coeficiente de drenaje Cd (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Tipo de pavimento	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9 - 3.2	-----	2.3 - 2.9	-----

Figura 47. Valores de coeficiente de transmisión de carga J. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Con los datos anteriormente escogidos, se procede a la correlación entre la resistencia a la compresión del concreto y el módulo de elasticidad del mismo mediante la figura 48, y para el cual se obtuvo un valor de modulo de elasticidad de 72962 Mpa.

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E _c Mpa	Módulo de Elasticidad E _c Kg/cm ²
Grueso - Ígneo	E _c = 5,500 x (f _c) ^{1/2}	E _c = 17,000 x (f _c) ^{1/2}
Grueso - Metamórfico	E _c = 4,700 x (f _c) ^{1/2}	E _c = 15,000 x (f _c) ^{1/2}
Grueso - Sedimentario	E _c = 3,600 x (f _c) ^{1/2}	E _c = 11,500 x (f _c) ^{1/2}
Sin Información	E _c = 3,900 x (f _c) ^{1/2}	E _c = 12,500 x (f _c) ^{1/2}

Figura 48. Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de Elasticidad E_c. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Además se escogió el factor de pérdida de soporte L_s con un valor de 2 suponiendo la utilización de materiales granulares sin tratar de la figura 49.

Tipos de subbase o base	Factor de pérdida de soporte
Subbases granulares tratadas con cemento (Mr : de 7,000 a 14,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases tratadas con cemento (Mr : de 3,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Bases asfálticas (Mr : de 2,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases estabilizadas con asfalto (Mr : de 300 a 2,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Estabilización con cal (Mr : de 150 a 1,000 Mpa)	1.00 a 3.00
Materiales granulares sin tratar (Mr : de 100 a 300 Mpa)	1.00 a 3.00
Suelos finos y subrasantes naturales (Mr : de 20 a 300 Mpa)	2.00 a 3.00

Figura 49. Valores del factor de pérdida de soporte L_s, por el tipo de subbase o base. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Con los datos anteriormente seleccionados se ingresa al nomograma presentado en la figura 50 para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, tomando como parámetros de partida un espesor de subbase de 25 cm, un valor de modulo de elasticidad de la subbase de 120 Mpa y un módulo de residencia del suelo de 4000 Mpa, dando como resultado un módulo de reacción compuesto de 104 Mpa/m.

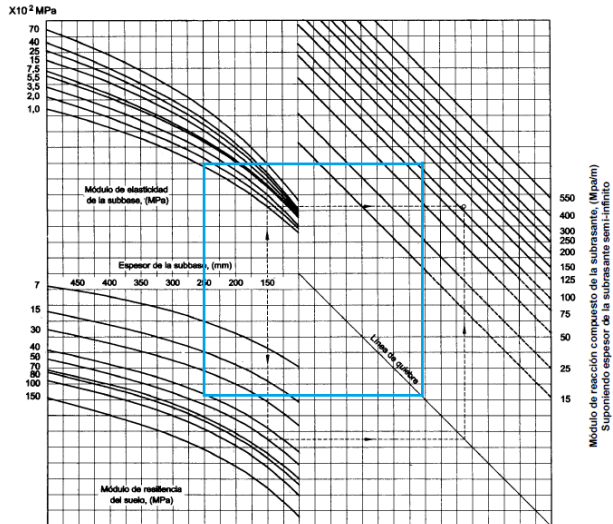


Figura 50. Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita. (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Teniendo el módulo compuesto de la subrasante, se procede a corregirlo por la pérdida potencial de soporte mediante el nomograma presentado en la figura 51, lo que arroja un valor de módulo efectivo de la subrasante de 16.

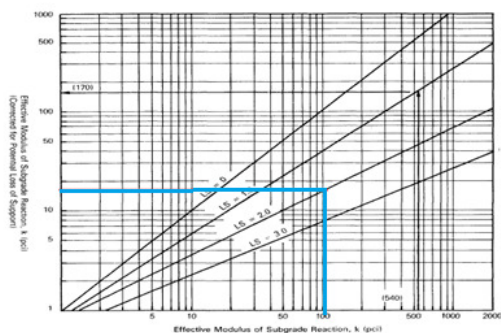


Figura 51. Nomograma para corregir el Módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase (Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos)

Tabla 34. Parámetros para el cálculo de espesor de losa para el primer tramo de vía.

W82 (ESALs)	16282958.55
log10(W8,2)	7.21
ΔPSI	2.20
Pt	2.00
f'c (kg/cm ²)	350.00
MR (Mpa)	4.10
Ec (Mpa)	72962.32
Ec (kg/cm ²)	233853.59
Zr	-1.65
So	0.35
R	0.95
Cd	1.12
J	2.80
K (Mpa/m)	16.00

En base a cálculos iterativos mediante el programa Microsoft Excel de la ecuación 21, se pudo determinar el espesor de losa para satisfacer la demanda de carga según los datos presentado en la tabla 34, arrojando como resultado los valores presentados en la tabla 35.

Tabla 35. Espesores de estratos para pavimento rígido primer tramo.

Estrato	Espesor
losa	26 cm
subbase	25 cm
total estructura	51 cm

Pavimento Rígido para segundo tramo (0+000 - 2+300)

Igualmente que el cálculo del pavimento rígido para el primer tramo, se deben realizar las mismas consideraciones y parámetros de diseño presentadas en la tabla 36, por lo que únicamente varía los ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, de manera que iterando mediante el programa Microsoft Excel se logra obtener los espesores presentados en la tabla 37.

Tabla 36. Parámetros para el cálculo de espesor de losa para el segundo tramo de vía.

W82 (ESALs)	4463688.01
log10(W82)	6.65
Δ PSI	2.20
Pt	2.00
f'c (kg/cm ²)	350.00
MR (Mpa)	4.10
Ec (Mpa)	72962.32
Ec (kg/cm ²)	233853.59
Zr	-1.65
So	0.35
R	0.95
Cd	1.12
J	2.80
K (Mpa)	16.00

Tabla 37. Parámetros para el cálculo de espesor de losa para el segundo tramo de vía.

Estrato	Espesor
losa	21 cm
subbase	25 cm
total estructura	46 cm

Pavimento semirrígido para primer tramo (2+300 - 4+998)

Este diseño, combina las metodologías tanto de pavimentos rígidos como de flexibles, en el cual se propone un espesor de carpeta asfáltica que para esta caso fue de 15 cm, el cual proporciona una capacidad de carga representada en ejes equivalentes de 18 toneladas métricas. Este valor de ejes equivalentes es dividido porcentualmente en los vehículos de diseño y este a la vez en los factores camión para pavimentos flexibles para de esta forma obtener el tránsito de diseño por cada tipo de vehículo como se presenta en la tabla 38.

Tabla 38. Distribución de cargas equivalentes por tipo de vehículo

ESAL`s totales	tipo vehiculo	porcentaje vehicular	ESAL`s por vehiculo	Factor camion	transito de diseño
9866738,03					
factor carril	Veh. Liviano	66,72%	13166175,23	0,00076828	17137209388
1	Carga Liviana	18,94%	3737520,366	2,6189646	1427098,467
factor direccion	Autobus	4,33%	854459,5135	2,6189646	326258,5197
0,5	Dos ejes	7,71%	1521451,004	1,7294076	879752,6994
ESAL`s diseño	Tres Ejes	1,76%	347309,1787	1,5631426	222186,4971
19733476,06	Cinco ejes	0,54%	106560,7707	3,1733106	33580,31538

Tabla 39. Calculo de ESAL's para base estabilizada para primer tramo.

Po	4,2
Pt	2
n (años)	20
Periodo análisis (años)	20
TPDa	3170
i	4,00%
ΔPSI	2,2

Tipo de Vehículo	% de vehic.	Tránsito de diseño	ESAL's (factor)	ESAL's (diseño)
A	B	F=CxEx365	G	H=FxG
Veh. Liviano	66,72%	17137209388,1	0,001	13166175,2
Carga Liviana	18,94%	1427098,5	2,700	3852565,6
Autobus	4,33%	326258,5	2,700	880760,8
Dos ejes	7,71%	879752,7	2,908	2558405,7
Tres Ejes	1,76%	222186,5	3,542	786912,0
Cinco ejes	0,54%	33580,3	5,542	186106,9

Σ ESAL's	21430926,22
Factor de direc.	0,5
Factor de carril	1
ESAL's Total	10715463,11

Una vez obtenido los ESAL's totales afectados por los factores camión para pavimentos rígidos dados en la tabla 39, se procede a realizar el diseño como si la base estabilizada se comportase como losa de concreto, con los parámetros de diseño de capacidad de carga utilizados de la base, mientras que el resto de parámetros son los mismos que se consideraron en el pavimento rígido, tal y como se presenta en la tabla 40.

Tabla 40. Parámetros para el cálculo de espesor de base estabilizada para el primer tramo de vía.

W82 (ESALs)	10715463.11
log10(W82)	7.03
ΔPSI	2.20
Pt	2.00
f'c (kg/cm ²)	35.00
MR (Mpa)	3.00
Ec (Mpa)	23072.71
Ec (kg/cm ²)	73951.00
Zr	-1.65
So	0.35
R	0.95
Cd	1.12
J	2.80
K (Mpa)	16.00

En base a cálculos iterativos mediante el programa Microsoft Excel de la ecuación 21, se pudo determinar el espesor de base estabilizada para satisfacer la demanda de carga según los datos presentados en la tabla 39, arrojando como resultado los valores dados en la tabla 41.

Tabla 41. Parámetros para el cálculo de espesor de estructura para pavimento con base estabilizada.

Estrato	Espesor
carpeta	15 cm
base estabilizada	28 cm
subbase	25 cm
total estructura	68 cm

Pavimento semirrígido para segundo tramo (0+000 - 2+300)

Igual que el cálculo de espesores para el primer tramo de vía, el diseño de pavimento semirrígido considera los mismos factores utilizados para diseño de pavimentos rígidos con las variantes en la cantidad de ESAL`s utilizados debido al aporte que da la carpeta asfáltica y los factores relacionados a la capacidad de carga, para este diseño en particular se escogió un espesor de carpeta de 12 cm, dando a continuación la tabla 42, que contiene el valor de ESAL`s que aporte esta carpeta y su respectiva distribución en el tránsito de diseño.

Tabla 42. Distribución de cargas equivalentes por tipo de vehículo

ESAL`s totales	tipo vehículo	porcentaje vehicular	ESAL`s por vehículo	Factor camión	transito de diseño
2887029,29					
factor carril	Veh. Liviano	66,72%	3852451,884	0,00076828	5014385229
1	Carga Liviana	18,94%	1093606,695	2,6189646	417572,1562
factor dirección	Autobús	4,33%	250016,7365	2,6189646	95463,96178
0,5	Dos ejes	7,71%	445179,9165	1,7294076	257417,5784
ESAL`s diseño	Tres Ejes	1,76%	101623,431	1,5631426	65012,25863
5774058,579	Cinco ejes	0,54%	31179,91633	3,1733106	9825,674275

Tabla 43. Cálculo de ESAL's para base estabilizada segundo tramo.

Po	4,2
Pt	2
n (años)	20
Periodo análisis (años)	20
TPDa	3170
i	4,00%
Δ PSI	2,2

Tipo de Vehículo	% de vehic.	Tránsito de diseño	ESAL's (factor)	ESAL's (diseño)
A	B	F=CxEx365	G	H=FxG
Veh. Liviano	66,72%	5014385229,4	0,001	3852451,9
Carga Liviana	18,94%	417572,2	2,700	1127269,2
Autobus	4,33%	95464,0	2,700	257712,5
Dos ejes	7,71%	257417,6	2,908	748595,1
Tres Ejes	1,76%	65012,3	3,542	230252,2
Cinco ejes	0,54%	9825,7	5,542	54455,3

Σ ESAL's	6270736,24
Factor de direc.	0,5
Factor de carril	1
ESAL's Total	3135368,12

Una vez obtenido los ESAL's totales afectados por los factores camión para pavimentos rígidos, se procede a realizar el diseño como si la base estabilizada se comportase como losa de concreto, por tanto los parámetros de diseño utilizados son los mismos que se consideraron en el diseño de la base estabilizada para el primer tramo.

Tabla 44. Parámetros para el cálculo de espesor de base estabilizada para el segundo tramo de vía.

W82 (ESALs)	3135368.12
log10(W82)	6.50
Δ PSI	2.20
Pt	2.00
f'c (kg/cm ²)	35.00
MR (Mpa)	3.00
Ec (Mpa)	23072.71
Ec (kg/cm ²)	73951.00
Zr	-1.65
So	0.35
R	0.95
Cd	1.12
J	2.80
K (Mpa)	16.00

En base a cálculos iterativos mediante el programa Microsoft Excel de la ecuación 21, se pudo determinar el espesor de base estabilizada para satisfacer la demanda de carga según los datos presentados en la tabla 44, arrojando como resultado un valor 24 cm de base estabilizada, 25 cm de subbase propuesto inicialmente y 12 cm de carpeta asfáltica, dando como un espesor total de estructura de 61 cm como se presenta en la tabla 45.

Tabla 45. *Parámetros para el cálculo de espesor de estructura para pavimento con base estabilizada.*

Estrato	Espesor
carpeta	12 cm
base estabilizada	24 cm
subbase	25 cm
total estructura	61 cm

Presupuestos

Los costos asociados al proyecto están definidos en base los valores de pago empleados y suministrados por el departamento de contratación vial del Ministerio de Obras públicas y Transporte, para los cuales mediante las estimación de cantidades de materiales en el sumario de estructuras y consecuentemente el sumario de cantidades, se pudieron asociar los costos para tres diferentes propuestas de diseño, en las los aspectos de diseño geométrico así como drenajes no cambiaron en ninguno de los tres proyectos, sin embargo el diseño de pavimentos fue realizado para tres diferentes opciones estructurales, el primero con pavimento flexible, el según con carpeta asfáltica y base estabilizada, y por último el diseño de pavimento rígido. Por tanto las variaciones de espesores conllevan a la estimación de diferentes valores en corte y relleno planteados para cada diseño. Además los valores asociados a las capas de rodadura son los que marcan la diferencia más significativa entre la obtención del valor de presupuesto para las diferentes propuestas tal como se presentan desglosados en la tabla 46, tabla 47 y tabla 48 respectivamente.

Tabla 46. Presupuesto diseño con Pavimento flexible						
REGION DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	Precio Total \$
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	¢120.033.807,86	\$214.346,09
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	5	¢1.185,00	¢5.925,00	\$10,58
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	46197,25	¢9.057,00	¢418.408.493,25	\$747.158,02
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	28986,82	¢11.016,00	¢319.318.809,12	\$570.212,16
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	550,64	¢8.935,00	¢4.919.968,40	\$8.785,66
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	257,42	¢11.946,00	¢3.075.139,32	\$5.491,32
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	17823,75	¢15.912,00	¢283.611.510,00	\$506.449,13
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	11.599	¢25.459,00	¢295.298.941,00	\$527.319,54
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	48500	¢714,00	¢34.629.000,00	\$61.837,50
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	16715,72	¢26.551,88	¢443.833.791,55	\$792.560,34
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	81,24	¢210.905,00	¢17.133.922,20	\$30.596,29
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	37,92	¢206.611,00	¢7.834.689,12	\$13.990,52
609(3)	CORDON Y CUNETAS DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	1160	¢15.132,10	¢17.553.236,00	\$31.345,06
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ø	m	571	¢114.380,00	¢65.310.980,00	\$116.626,75
603(21)	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,90 m ø	m	441	¢120.000,00	¢52.920.000,00	\$94.500,00
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	25	¢8.346,67	¢208.666,75	\$372,62
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	10	¢26.516,21	¢265.162,10	\$473,50
622A(3)	CUNETAS REVESTIDAS CON TOBA CEMENTO	m	8726	¢18.840,00	¢164.397.840,00	\$293.567,57
608(1)	ACERA DE CONCRETO	m2	12507	¢11.965,00	¢149.646.255,00	\$267.225,46
608(4)	CAMA DE ARENA PARA ACERA	m3	1250,7	¢1.815,00	¢2.270.020,50	\$4.053,61
	TOTAL				¢2.400.676.157,17	\$4.286.921,71
	TIPO DE CAMBIO 1\$=¢560					

Cuadro 47. Presupuesto diseño con Pavimento Semirrígido						
REGION DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total c	Precio Total \$
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	€123.094.915,80	\$219.812,35
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	5	€1.185,00	€5.925,00	\$10,58
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	46197,25	€9.057,00	€418.408.493,25	\$747.158,02
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	31970,75	€11.016,00	€352.189.782,00	\$628.910,33
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	550,64	€8.935,00	€4.919.968,40	\$8.785,66
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	257,42	€11.946,00	€3.075.139,32	\$5.491,32
304	BASE ESTABILIZADA DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	12731	€47.459,00	€604.200.529,00	\$1.078.929,52
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	48500	€714,00	€34.629.000,00	\$61.837,50
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	16715,72	€26.551,88	€443.833.791,55	\$792.560,34
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	81,24	€210.905,00	€17.133.922,20	\$30.596,29
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	37,92	€206.611,00	€7.834.689,12	\$13.990,52
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	1160	€15.132,10	€17.553.236,00	\$31.345,06
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ø	m	571	€114.380,00	€65.310.980,00	\$116.626,75
603(21)	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,90 m ø	m	441	€120.000,00	€52.920.000,00	\$94.500,00
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	25	€8.346,67	€208.666,75	\$372,62
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	10	€26.516,21	€265.162,10	\$473,50
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	8726	€18.840,00	€164.397.840,00	\$293.567,57
608(1)	ACERA DE CONCRETO	m2	12507	€11.965,00	€149.646.255,00	\$267.225,46
608(4)	CAMA DE ARENA PARA ACERA	m3	1250,7	€1.815,00	€2.270.020,50	\$4.053,61
	TOTAL				€2.461.898.315,99	\$4.396.246,99
	TIPO DE CAMBIO 1\$=€560					

Tabla 48. Presupuesto diseño con Pavimento Rígido						
REGION DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total c	Precio Total \$
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	157.712.302,07	\$281.629,11
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	5	1.185,00	5.925,00	\$10,58
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	46197,25	9.057,00	418.408.493,25	\$747.158,02
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	42627,67	11.016,00	469.586.412,72	\$838.547,17
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	550,64	8.935,00	4.919.968,40	\$8.785,66
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	257,42	11.946,00	3.075.139,32	\$5.491,32
304 (03)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	12731	25.459,00	324.118.529,00	\$578.783,09
602A(2)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE B	m3	11494,5	113.000,00	1.298.878.500,00	\$2.319.425,89
602A(1)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	81,24	210.905,00	17.133.922,20	\$30.596,29
602A(6)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	37,92	206.611,00	7.834.689,12	\$13.990,52
609(3)	CORDON Y CUNETAS DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	1160	15.132,10	17.553.236,00	\$31.345,06
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ø	m	571	114.380,00	65.310.980,00	\$116.626,75
603(21)	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,90 m ø	m	441	120.000,00	52.920.000,00	\$94.500,00
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	25	8.346,67	208.666,75	\$372,62
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	10	26.516,21	265.162,10	\$473,50
622A(3)	CUNETAS REVESTIDAS CON TOBA CEMENTO	m	8726	18.840,00	164.397.840,00	\$293.567,57
608(1)	ACERA DE CONCRETO	m2	12507	11.965,00	149.646.255,00	\$267.225,46
608(4)	CAMA DE ARENA PARA ACERA	m3	1250,7	1.815,00	2.270.020,50	\$4.053,61
	TOTAL				3.154.246.041,43	\$5.632.582,22
	TIPO DE CAMBIO 1\$=c560					

Análisis de resultados

El diseño geométrico de carreteras establece una serie de parámetros que deben ser ajustados a las necesidades de cada proyecto, por tanto cada diseño tiene características particulares que hacen diferente cada diseño carretero. Las consideraciones, estudios y visitas a campo deben ser constantes, además son vitales para la buena escogencia de los elementos que formarán el diseño, siendo estas herramientas quienes evidencian los requerimientos de cada proyecto vial.

El diseño debe estar fundamentado en metodologías basadas en estudios tanto teóricos como empíricos, de este modo la implementación de sistemas de diseño vigentes y bien fundamentados es indispensable para dar fundamento como veracidad a los estándares que se rijan.

El diseño está compuesto de una serie de pasos a seguir, de manera que se vaya dando una secuencia lógica al proceso y estableciendo las directrices que dan fundamento al siguiente evento. Los datos de flujos de tránsito para cada proyecto son la base del diseño de carreteras, ya que estos valores establecen el resto de parámetros a considerar, pues según estas cantidades se proyecta la demanda de tránsito futura y con esto el adecuado cumplimiento de la misma en el periodo de diseño planteado. La posibilidad de conteos vehiculares durante constantes periodos de tiempo, hace que los datos de tránsito promedio diario sean más confiables, además estos datos deben contener las características de tránsito bien definidas, de manera tal que se pueda establecer los porcentajes de flujo para cada tipo de vehículo y con esto poder estimar su influencia y relevancia en el diseño.

Para el caso de este proyecto, los conteos vehiculares realizados en la ruta, son de vital importancia para el diseño, sin embargo, la

principal influencia vehicular para el mejoramiento, no es el del tránsito local, sino más bien es la afectación que pueda producir la influencia de otras rutas cercanas al proyecto el factor que más influencia tenga sobre el diseño. En este caso, en base a consultas a vecinos del lugar del proyecto, así como a personal de la Municipalidad de Paraíso de Cartago, se definió una afectación porcentual del sesenta por ciento del tránsito promedio diario anual de la ruta que comunica Paraíso con el valle de Orosi y una afectación del diez por ciento del tránsito de la ruta entre Paraíso y el valle de Ujarras.

Esta estimación se realizó mediante consideraciones de distancias de recorrido, así como también de la experiencia de personas que están en contacto directo con las situaciones de la zona, por tanto la consideración de estos volúmenes de tránsito, que inicialmente no están afectando el proyecto, pero que en vista de un mejoramiento van a utilizar la ruta como un medio más eficiente y fluido para la conexión con la ruta diez, hace que la ruta cambie sus requerimientos del tránsito local, a un tránsito de mayor magnitud y consecuentemente con demandas de espacio, capacidad y complementos de vía de mayor envergadura.

Los valores de tránsito proyectados son estimaciones con poco estudio, pues se toman en base, tanto a la experiencia como a criterio del diseñador, esto por consecuencia a la inexistencia de estudios de origen destino que deben ser empleados para dar mayor exactitud a la proyección de demanda de tránsito.

Una vez definida la cantidad de vehículos para el diseño, se debe escoger el periodo de diseño, dependiendo de factores como tipo de zona y posibles variaciones en la situación de la misma. Para este caso se consideró que el diseño debe estar planteado por un periodo de veinte años, considerando que es una zona sub urbana

con variaciones poco drásticas en aspectos productivos o de crecimiento demográfico y que además no es conveniente realizar estimaciones de tránsito para periodos mayores pues la incertidumbre del comportamiento del tránsito aumentaría al no tener conocimiento del comportamiento de la zona a largo plazo.

Las velocidades de diseño requeridas para el diseño son de setenta kilómetros por hora en base al tránsito de diseño y topografía del proyecto, sin embargo las posibilidades de diseño deben contemplar no solo los requerimientos de los usuarios en automotores, más bien debe estar regido por la posibilidad de ofrecer al conjunto de usuarios las mejores condiciones posibles en un sistema estable y funcional para todos.

De esta forma, por las características del proyecto, entre las que destaca una escuela frente a la vía, dos centros turísticos con influencia directa de la ruta e intersecciones en ramos cortos de carretera, hicieron que la escogencia de la velocidad de diseño estuviera regida por dos valores o rangos máximos de cuarenta kilómetros por hora en la mayoría del proyecto y cincuenta kilómetros por hora en un tramo de vía con poca influencia peatonal. Estos valores que reducen el nivel de servicio planteado inicialmente para la velocidad de diseño de setena kilómetros por hora, también ofrecen mayor seguridad al sistema y hace que la carretera ofrezca una posibilidad de interacción más completa entre peatones, ciclistas y usuarios con vehículos automotores.

Además, una medida tomada para minimizar la afectación que pueda producir la disminución en la velocidad de diseño es ofrecer distancia de adelantamiento en sectores con buena visibilidad, que sirvan de complemento para favorecer un adecuado tránsito, junto con dimensiones de calzada y espaldones anchos que dan mayor posibilidad de rebase de vehículos pesados que constantemente circulan en este sector.

Bien definidas estas velocidades de diseño se procede a realizar los cálculos de radios de curvatura horizontal, en las cuales el mínimo radio de giro para un peralte del cuatro por ciento debe ser de al menos sesenta metros para la velocidad de diseño de cuarenta kilómetros por hora, sin embargo en la medida de lo posible esta distancia debe de ser aumentada de manera tal que se dé la mejor comodidad y funcionalidad al diseño. Para este diseño en particular, se utilizaron únicamente dos curvas con el valor mínimo de radio de

curvatura, pero para el resto de las curvas horizontales se pudieron establecer radios de curva mayores con la finalidad antes mencionada.

La consideración de otros parámetros como anchos de carril y de aceras, aunque están regidos por rangos en el manual centroamericano de diseño geométrico, estos pueden ser utilizados con valores máximos de forma que la comodidad apreciada por los usuarios sea la mejor, para con ello evitar disminuciones de velocidad de los conductores, producto de la restricción de paso que provocan espacios reducidos de calzada y espaldones principalmente.

Como fue mencionado inicialmente, la comprobación de distancias de visibilidad que brinden seguridad al diseño, son de relevante importancia para la conducción, además en la medida de lo posible deben establecerse distancias de adelantamiento para carreteras de solo un carril en cada sentido, de manera que en presencia de conflictos vehiculares como tránsitos de baja velocidad en el caso de los vehículos destinados al transporte de carga pesada, pueden ser una solución ante situaciones anómalas al tránsito de flujo vehicular.

Además del diseño horizontal bien planteado, el diseño vertical debe amarrarse a los parámetros establecidos en el diseño planimétrico, realizando corroboración de que las longitudes de curvatura vertical no están traslapadas con curvas horizontales, estas comprobaciones deben ser analizadas minuciosamente, pues la mala ubicación de curvas puede conllevar a variar un proyecto establecido inicialmente bajo buenos parámetros de diseño pero que con una mala escogencia de la ubicaciones de curva antes mencionadas se puede provocar la disfuncionalidad del conjunto.

Las consideraciones de distancias mínimas de visibilidad en curvas verticales, son de los aspectos más importantes en el diseño altimétrico, pues, es en condiciones de oscuridad cuando más crítico puede ser el transitar en una ruta. Por tanto en condiciones nocturnas, los faroles de los vehículos son los que marcan la distancia visible en un trayecto. De este modo los cálculos respectivos para curvaturas cóncavas o convexas establecen las mínimas dimensiones a utilizar para una determinada velocidad de diseño y son quienes rigen este diseño.

Por las características propias de proyecto y caminos existentes actualmente con elementos de vía que no están regidos por buenos

parámetros de diseño. Se estimo realizar un replanteo de las intersecciones en tres puntos de la ruta que conducen a la ruta 10 y una cuarta intersección con la ruta 224, por lo que la aplicación de longitudes de aceleración como de deceleración fueron debidamente establecidas de manera que estos puntos no se conviertan en sectores conflictivos para el tránsito en la carretera.

Siendo el diseño vial un conjunto de diseños individuales, se determinó la opción de diseñar una estructura capaz de dar facilidades de tránsito a los ciclistas de la localidad, así como a usuarios que arriben al lugar por distintas situaciones, especialmente con la consideración de presencia de lugares de esparcimiento como el caso de los dos centros turísticos presentes en el lugar. Con estas observaciones se definió agregar al diseño una estructura de ciclo vía de dos metros y medio de ancho, en la cual el tránsito de dos ciclistas a la vez en sentido contrario es posible fácilmente.

Todos los diseños involucrados en un proyecto carretero, están asociados entre sí, y principalmente la escogencia del sistema de drenajes con el nivel de rasante y la estructura de pavimentos planteada, pues la variación en cualquiera de ellos puede llevar a cambios en el resto de diseños. Una vez completado el diseño altimétrico, se inicia el análisis de cuencas para el consecuente diseño de drenajes, siendo la estimación de cuencas un parámetro muy sensible a las variaciones topográficas y estimaciones de dirección de flujo, de este modo es muy importante la observación en campo de la situación presente, además de la consulta a personas que residan en las cercanías del proyecto, de este modo la toma de decisiones estará fundamentada en datos que consideran situaciones presentadas en épocas críticas de lluvia o cambios sufridos a través del tiempo.

Las hojas cartográficas son la base de la escogencia de las áreas de influencia, sin embargo la aplicación del programa google earth para la determinación de dichas áreas es una herramienta más eficiente en cuanto a determinación de dirección de flujo, marcando una mayor facilidad para la determinación de cuencas y siendo corroborado de una manera manual con las curvas de nivel presentes en las hojas cartográficas.

Por otro lado el diseño hidrológico debe estar asociado a un adecuado uso de suelo, pues

este valor puede incrementar o disminuir considerablemente los caudales obtenidos si no es analizado minuciosamente, por tanto las visitas a campo son factores primordiales para la determinación de la situación actual de las áreas, y la posible proyección a variantes en el uso de suelo como presencia de permisos para urbanizar, zonas de uso agrícola, zonas protegidas, o cualquier otra condición que indiscutiblemente puede provocar el colapso de las estructuras si estas no están diseñadas acorde al os requerimientos evidenciados.

Dentro del diseño hidrológico, un factor muy particular para cada proyecto es la intensidad de lluvia presente, por tanto el valor obtenido de cincuenta milímetros por hora para la zona, es un valor bastante alto para el territorio nacional, en comparación con valores de hasta treinta milímetros por hora para otros sectores, siendo este valor el que rige para este diseño, los consecuentes cálculos de tormenta de diseño y tiempos de concentración para la determinación final de caudales son más metódicos y por consecuente el criterio del diseñador está más al margen de variables que puedan sufrir estos valores.

El diseño hidráulico, está más asociado a las características topográficas del proyecto, tipo de materiales a utilizar, así como también por las variaciones en secciones típicas que se puedan efectuar, de forma tal que la optimización de la estructuras debe estar fundamentado en la vialidad de cada sistema de drenaje, su funcionalidad, y costo asociado al mismo. Los sistemas de drenaje en este proyecto mantienen secciones transversales muy comúnmente empleadas en nuestro país, siendo la propuesta de cunetas de sección triangular la que será utilizada en el diseño, con dimensiones la primera de un metro de ancho por cincuenta centímetros de profundidad y la segunda de igual ancho

Y una profundidad de treinta centímetros, que aunque son secciones de mayor capacidad a las calculadas en las tablas de diseño, por cuestiones constructivas, como de funcionalidad y mantenimiento, son de mejor desempeño las planteadas como típicas.

Por otra parte el alcantarillado del primer tramo está enfocado en cubrir las necesidades presentes en una zona urbanizada, en donde el uso de cunetas no sería la elección más correcta por la incomodidad que puede presentar principalmente a los peatones, además el sistema

de alcantarillado de este sector está enfocada a dar la capacidad suficiente para la demanda de caudal para un periodo de retorno de veinticinco años y además estar adecuado a las posibilidades de intervención para el respectivo mantenimiento periódico con dimensiones de tubería que así lo permitan.

El resto del sistema de alcantarillas de paso para el desfogue de caudales hasta los puntos planteados en el diseño cuenta con dimensiones de tubería de ochenta y noventa centímetros respectivamente, igualmente está fundamentado en los caudales que afecta a cada estructura, considerando las respectivas elementos que complementan el sistema, como lo son los tomas, cabezales, zampeados o cualquier otra estructura necesaria basada en la observación de cada estructura para de este modo plasmar en el diseño su verdadera condición y necesidad.

El diseño de pavimentos por su parte, es un parámetro muy relevante a considerar en un mejoramiento o diseño nuevo de una vía, ya sea para dar agregar una sobre capa a una estructura ya existente o para establecer una superficie de rodadura capaz de soportar un tránsito de diseño para una estructura nueva, de esta forma el análisis de las necesidades propias de cada proyecto es de vital importancia para el buen diseño y el consecuente desempeño que pueda ofrecer la estructura de pavimento para los usuarios.

Además las metodologías de diseño existentes presentan una gama de variaciones que se pueden ofrecer a la hora de estimar los espesores de la estructura de pavimento, dependiendo del tipo de estratos que se quieran colocar y las respectivas capacidades de carga que puedan sobrellevar estos estrados y las posibilidades o restricciones que se presenten en el proyecto, como lo son los sistemas de drenajes o ubicación de estructuras ya existentes.

De este modo la decisión de escogencia de un pavimento flexible está planteada tanto en costos, disposición para proveer los materiales al proyecto, condiciones de la zona, como en la facilidad que se posee de colocación de estratos mayores respecto a la estructura de pavimento rígido, esto sin causar modificaciones en los otros diseños como el de drenajes.

Para el cálculo de los ejes equivalentes de carga de 18 toneladas para el pavimento flexible, como de 8.2 toneladas para el pavimento rígido

está estimado en base a factores camión obtenidos a partir de los datos suministrados por el departamento de pesos y dimensiones del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, para los cuales se utilizaron los valores máximos de carga permitidos, lo cual encarece los costos asociados al pavimento, sin embargo considera las demandas de cargas máximas posibles por ley, lo cual garantiza un factor de seguridad al diseño debido a que no siempre los vehículos transitan a carga máxima.

Los espesores de estratos obtenidos para los pavimentos para los dos diferentes tramos, se lograron determinar mediante la metodología AASHTO planteada en el manual centroamericano de diseño de pavimentos, sin embargo a diferencia de los cálculos presentados en el manual, para este diseño se procedió a calcular los espesores mediante la programación de las ecuaciones generales, de manera que las iteraciones que efectúa el programa Microsoft Excel son más precisas que hacer el procedimiento mediante la observación de los nomogramas y por tanto los datos están menos expuestos a errores de apreciación del diseñador.

Además la escogencia del pavimento flexible está basada en el menor costo asociado a su construcción respecto a los diseños de pavimento semirrígido como rígido. Aunque el valor del pavimento semirrígido no varía mucho respecto al flexible, el desecho de éste como propuesta se fundamenta en que en cuestiones constructivas, se tiene una mayor vulnerabilidad cuando se trabaja con materiales que deben ser bien homogenizados en sitio, a sabiendas del sin número de factores que pueden llegar a afectar este tipo de proyecto. Mientras que para el pavimento rígido la propuesta es poco atractiva al incrementar los costos respecto al pavimento flexible casi en un 35% del costo total.

Conclusiones

- ✓ Mediante conteos vehiculares en la vía donde será desarrollado el mejoramiento y los datos de tránsito proporcionados por el departamento de planificación sectorial del Ministerio de Obras Públicas y transporte, se logró determinar un tránsito promedio diario anual de siete mil quinientos trece vehículos por día, mediante el cual se tomó el punto de partida para establecer el resto de parámetros del diseño.
- ✓ El tránsito promedio diario anual fue proyectado para un periodo de diseño de veinte años.
- ✓ Según; el tránsito promedio diario anual proyectado se estableció que la clasificación de la carretera como una troncal rural al estar en un rango de TPDA, entre diez mil y tres mil vehículos por día.
- ✓ Las velocidades de diseño están planteadas según el tipo de la zona para la cual, se establecieron dos rangos, un primer tramo de cincuenta kilómetros por hora desde la estación 2+300 hasta la estación 3+350 y el resto del proyecto a una velocidad de cuarenta kilómetros por hora.
- ✓ El radio de giro mínimo utilizado fue de 60 metros para una velocidad de diseño de cuarenta kilómetros por hora con un peralte del cuatro por ciento, pero en la mayoría de los casos se utilizaron
- ✓ valores de radios mayores para dar mayor funcionalidad al diseño.
- ✓ Se establecieron anchos de espaldones de 1.2m en todo el proyecto, así como también anchos de aceras de metro y medio en los tramos que se consideró necesario.
- ✓ Se cumplió con las distancias de visibilidad mínimas en el diseño horizontal, de manera que se cumpliera con los valores calculados.
- ✓ Se verificó que las longitudes de curva vertical cumplieran con las distancias mínimas de visibilidad calculadas.
- ✓ Se establecieron distancias de adelantamientos en cuatro diferentes tramos de la carretera de manera que brinden fluidez en sectores específicos.
- ✓ Se diseñó una ciclovía con dos metros y medio de ancho desde el estacionamiento 2+300 hasta el final del proyecto en el estacionamiento 5+000.
- ✓ Se diseñó un tramo de boulevard de tres metros de ancho, comprendido entre el estacionamiento 3+350 al 3+930 de manera que sirva para el esparcimiento de los vecinos del lugar.
- ✓ Se determinaron las cantidades de material del movimiento de tierras para corte y relleno respectivamente.
- ✓ Se estimaron áreas de influencia para el cálculo de caudales para el diseño de las estructuras de drenaje en base a la información tomada del programa google earth, las cuales importan elevaciones y las respectivas curvas de nivel.
- ✓ Se determinaron valores de coeficiente de uso de suelo en base a datos obtenidos de la tesis de Ramiro Gamboa. Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carretera.

- ✓ Para las cunetas se diseñaron dos secciones típicas de las mismas, ambas con un metro de ancho y diferenciadas una con cincuenta centímetros de profundidad, mientras que la otra con treinta centímetros de profundidad.}
- ✓ Se determinaron diámetros de alcantarilla de ochenta y noventa centímetros para la totalidad de alcantarillas de paso en la totalidad del proyecto.
- ✓ Los diseños de pavimento estuvieron basados en capacidades de carga mínimas, con valores de CBR de 5% para la subrasante, 30% para la subbase y 80% para la base.
- ✓ Se diseñaron tres propuestas de pavimento para el proyecto para dos diferentes tramos, con pavimento rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido.
- ✓ La escogencia del pavimento flexible se basa en el menor costo asociado, como en las facilidades constructivas del mismo respecto a los otros pavimentos.
- ✓ El costo asociado al proyecto es de aproximadamente \$4000000 usando como estructura de pavimento uno flexible.
- ✓ Debe de analizarse posibles fuentes de préstamo de material, para en base a estas fuentes poder determinar costos asociados a acarreo, además dependiendo de este factor puede variar la

viabilidad del empleo de uno u otro tipo de estructura de pavimento.

Recomendaciones

- ✓ Es importante que se establezcan conteos vehiculares constantes en rutas cantonales y nacionales de manera que se puedan establecer factores de crecimiento de tránsito bien fundamentados y con suficientes datos que den mayor representatividad.
- ✓ En la medida de lo posibles deben de ser utilizados estudios de origen y destino en vías que pueden ser influenciadas por tránsitos vehiculares que inicialmente no estén presentes en el flujo vehicular de la ruta a diseñar.
- ✓ El diseño de ciclovías debe ser un aspecto a considerar en el diseño de nuevos proyectos carreteros, pues es un medio de transporte muy poco desarrollado en nuestro país y que puede llegar a descongestionar muchas de las rutas ahorra colapsadas, además puede proporcionar mejores niveles de vida a sus usuarios por el aporte a la salud que el deporte conlleva.
- ✓ Los entes municipales deben de establecer modelos de inspección en las que garanticen un constante chequeo de los derechos de vía, de este modo se evitarían situaciones indeseables como desalojos a personas que invadan el derecho de vía y que en muchos casos llevan a procesos largos y costosos.
- ✓ La escogencia de las velocidades de diseño, no solo debe estar asociada a los volúmenes de tránsito presentes, sino que debe de estar enfocado a dar soluciones a ciclistas, peatones y en general a todos los usuarios, por tanto la velocidad debe ser planteada en base a características propias del proyecto, especialmente cuando interactúan directamente elementos como urbanizaciones, escuelas, colegios, iglesias o cualquier factor que involucre la presencia directa de peatones.
- ✓ Los sistemas de drenajes deben de ser tratados conjuntamente con el diseño geométrico, pues dependiendo de las demandas de sistemas de drenaje y las dimensiones de los mismos, se verá afectado el nivel de rasante y consecuentemente el movimiento de tierras.
- ✓ Los coeficientes de uso de suelo utilizados deben ser proyectados al periodo de diseño, realizando visitas al sitio y entrevistas a vecinos que evidencien el crecimiento demográfico esperado o las variaciones productivas que se puedan desarrollar en este periodo.
- ✓ Las dimensiones de tubería empleados en los sistemas de drenaje, no deben tener diámetros menores a los ochenta centímetros, pues con esta dimensión se garantiza el hecho de que un trabajador pueda realizar labores de mantenimiento.
- ✓ La escogencia de la estructura de pavimento debe de estar acorde a las posibilidades de espacio y profundidad a la que pueda ser colocada la misma, principalmente en mejoramientos en donde por lo general existen estructuras ya construidas, que limitan las posibilidades de colocación de los estratos de pavimento. De esta forma debe de realizarse adecuados estudios desfogues de aguas, tuberías existentes o cualquier otra estructura que limite la colocación de la estructura de pavimento.
- ✓ Los valores de presupuesto calculados deben de estar actualizados a valores presentes de costo.

Epígrafe

“Es el esfuerzo diario de cada individuo quien marca la diferencia entre las sociedades que logran el desarrollo, a diferencia de las sociedades que viven sumidas en el conformismo...”

Alex Mauricio Ureña Ortega

Anexos



Figura 52. Configuración de vehículo C2+ (eje delantero sencillo y trasero sencillo)



Figura 53. Configuración de vehículo C2 (eje delantero sencillo y trasero dual)



Figura 54. Configuración de vehículo C3 (eje delantero sencillo y traseros duales)



Figura 55. Configuración de vehículo C4 (eje delantero sencillo y trasero Tridem).



Figura 56. Configuración de vehículo T3-S2 (eje delantero sencillo y traseros duales en el tractocamión y ejes duales en el semiremolque)

Bibliografía

- Alpizar, A. 2005. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CICLOVÍAS EN ÁMBITO INTERURBANO: APLICACIÓN EN EL TRAMO INTERAMERICANA – EL ROBLE – CALDERA DE LA CARRETERA COSTANERA SUR. Tesis final de graduación. Universidad Latina de Costa Rica. Costa Rica.
- Anguas, P. Gómez, J. Sesma J. 2002. MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS. México. Instituto Mexicano de Transporte.
- Araya, L. 2003. EL MANUAL DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO DE CHILE. Grafic Suisse. Chile.
- Coronado, J. 2002. MANUAL CENTROAMERICANO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS. Guatemala. Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- Domínguez. F. 1999. HIDRAULICA. Santiago de Chile. Editorial Universitaria.
- Gamboa, R. 1969. DISEÑO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE DRENAJES MENORES EN CARRETERA. San José, Costa Rica.
- Hun L. 2003. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA UN SECTOR DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ. Tesis final de graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES. México. Instituto Mexicano de Transporte.
- Leclair, R. 2004. MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS REGIONALES. Guatemala. Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- Mott, R. 1996. MECANICA DE FLUIDOS APLICADA. México. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana.
- Bañon, L. Bevía, J. 2000. MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN 1, ELEMENTOS-PROYECTO. Universidad de Alicante. España.