

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción**

**Diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el
mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional
N.º 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la
Ruta Nacional N.º 27**

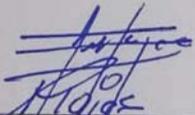
Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Karina Salas Alfaro

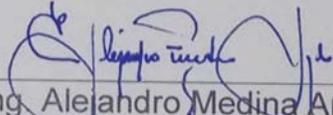
Cartago, Noviembre 2018.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

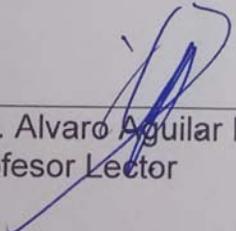
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Alejandro Medina Alngulo, Ing. Álvaro aguilar Dondi, Ing. Sonia Vargas Calderón como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



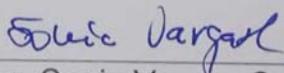
Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Alejandro Medina Angulo.
Profesor Guía



Ing. Alvaro Aguilar Dondi.
Profesor Lector



Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N.º 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la Ruta Nacional N.º 27

Abstract

This project consists on a geometric and drainage design of Route 707 that joins the community of San Pablo of Turrubares with Route 27, the road has a length of 5.96 km.

The road has a high deterioration, and is located in a region with irregular topography, which represents a discomfort for the people who live there.

The improvement was carried out, both in plant and in profile, enforcing design criteria according to the Central American Handbook of Standards for the geometric design of roads of the SIECA. Within the design were used typical sections with rail widths of 3.3 m, shoulders of 1.0 m, slopes of cut with relation 1:1 and of fill with relation 2:1, and the placement of ditches or sidewalks of 1.2 m with cord and spout in the residential areas.

The minor drainages were also designed, considering the state and location of the existing sewers, for which it was necessary to visit the site, where it was proposed to remove the existing ones and to build new ones, due to the deterioration and the small Diameters of some of them.

The quantities of cut and fill were calculated and the mass curve was generated, using a design where the movement of land corresponded to a design as economical as possible.

A signaling was proposed to be placed on the route, with the aim of restricting speeds and warning users of possible hazards, as well as guiding.

Keywords: Design, road, roadway, drainage, earth movement, signage, alignments, sewers, ditches, basins.

Resumen

Este proyecto consiste en el diseño geométrico y de drenajes de la ruta 707 que une la comunidad de San Pablo de Turrubares con la Ruta 27; el camino posee una longitud de 5.96 km.

El camino posee un deterioro elevado y se ubica en una zona con topografía irregular, lo cual representa una incomodidad para las personas que viven ahí.

Se realizó el mejoramiento, tanto en planta como en perfil, haciendo cumplir criterios de diseño según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Dentro del diseño se utilizaron secciones típicas con anchos de carril de 3.3 m, espaldones de 1.0 m, taludes de corte con relación 1:1 y de relleno con relación 2:1, y la colocación de cunetas o aceras de 1.2 m con cordón y caño en las zonas residenciales.

También se diseñaron los drenajes menores, tomando en cuenta el estado y ubicación de las alcantarillas existentes, para lo cual fue necesario realizar visita al sitio, donde se propuso remover las existentes y construir nuevas, debido al deterioro y los pequeños diámetros de algunas de ellas.

Se calcularon las cantidades corte y relleno y se generó la Curva Masa, utilizando un diseño donde el movimiento de tierras correspondiera a un diseño lo más económico posible.

Se propuso una señalización a colocar en la ruta, con el objetivo de restringir velocidades y advertir a los usuarios de posibles peligros, además de servir de guía.

Palabras clave: diseño, vial, carreteras, drenajes, movimiento de tierras, señalización, alineamientos, alcantarillas, cunetas, cuencas.

Diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N.º 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la Ruta Nacional N.º 27

Diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N.º 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la Ruta Nacional N.º 27

KARINA SALAS ALFARO

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre de 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1	Alineamiento horizontal.....	13
Resumen ejecutivo	2	Alineamiento vertical	13
Introducción	4	Rasante	13
Objetivos.....	5	Corredor	14
Objetivo general	5	Diagramas de superelevación	14
objetivos específicos	5	Características del tránsito que circulará por la carretera.....	15
Marco teórico.....	6	Tipos de flujo.....	15
Controles de localización.....	6	Continuo.....	15
Mapa de cuencas	6	Discontinuo	15
Hidrología	6	Velocidad	15
Hidráulica.....	6	Señalización.....	16
Intersecciones	7	Señales verticales.....	16
Topografía	7	Señales horizontales.....	16
Geología	7	Metodología	18
Controles de diseño.....	8	Resultados	21
Derecho de vía	8	Diseño geométrico	21
Ancho de carril.....	9	Diseño de drenajes	34
Espaldones.....	9	Movimiento de tierras.....	49
Pendientes.....	9	Señalización.....	55
Curvas	9	App INFOPROYECTOS	56
Bombeo	9	Análisis de los resultados	57
Drenaje	10	Conclusiones y recomendaciones	61
Alcantarilla	10	Apéndices	63
Cuneta	10	Anexos	70
Método racional	11	Referencias.....	81
Tiempo de concentración	11		
Intensidad de la lluvia.....	11		
Estado de flujo.....	11		
Distancias de visibilidad	13		

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Ubicación de la Ruta 707.....	2	<i>Figura 20.</i> Ubicación de Estación Meteorológica más cercana al proyecto (#84145).	40
<i>Figura 2.</i> Recorrido del proyecto.	2	<i>Figura 21.</i> Ubicación de las alcantarillas estudiadas.	41
<i>Figura 3.</i> Derecho de vía de una carretera.	8	<i>Figura 22.</i> Control de alcantarilla de cuadro Est 2+048.	44
<i>Figura 4.</i> Derecho de vía de una carretera.	8	<i>Figura 23.</i> Control de alcantarilla de cuadro Est 2+234.	45
<i>Figura 5.</i> Esquema de bombeo en la carretera...	9	<i>Figura 24.</i> Control de alcantarilla de tubo Est 2+234.	46
<i>Figura 6.</i> Cuneta triangular.....	10	<i>Figura 25.</i> Sección transversal de alcantarilla de cuadro de la estación 2+048.....	48
<i>Figura 7.</i> Estados de flujo según estado de fuerzas inerciales y gravitacionales.....	12	<i>Figura 26.</i> Sección transversal de alcantarilla de cuadro de la estación 2+234.....	48
<i>Figura 8.</i> Perfil longitudinal que muestra rasante, cortes y rellenos.	13	<i>Figura 27.</i> Sección de corte puro.....	52
<i>Figura 9.</i> Corredor de la carretera.....	14	<i>Figura 28.</i> Sección en banco.	53
<i>Figura 10.</i> Estructura de diagrama de superelevación.	14	<i>Figura 29.</i> Sección de relleno puro.....	53
<i>Figura 11.</i> Metodología utilizada en el proyecto.	20	<i>Figura 30.</i> Curva Masa del movimiento de tierras del proyecto.....	54
<i>Figura 12.</i> Diagrama de superelevación para la curva 1.....	28	<i>Figura 31.</i> Propuesta de señalización vertical. ...	55
<i>Figura 13.</i> Diagrama de superelevación para la curva 4.....	29	<i>FIGURA 32.</i> PANTALLA DE INICIO DE LA APLICACIÓN.	56
<i>Figura 14.</i> Sección típica 1.....	33	<i>FIGURA 33.</i> PANTALLA DE ATRIBUTOS DEL PROYECTO ESPECÍFICO.....	56
<i>Figura 15.</i> Sección típica 2.....	33	<i>FIGURA 34.</i> CALCULADORA DE PARÁMETROS.	56
<i>Figura 16.</i> Mapa de cuencas presentes en el proyecto.....	34	<i>FIGURA 35.</i> DESCARGA DE APP INFOPROYECTOS	56
<i>Figura 17.</i> Mapa de Uso de Suelo de la Ruta N° 707.....	36	<i>Figura 36.</i> Tramo con pendiente mayor al 12%. 58	
<i>Figura 18.</i> Sección transversal propuesta para la cuneta.....	38		
<i>Figura 19.</i> Estación 84-145 del IMN. Intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y período de retorno.....	40		

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de radio por encima de los cuales no es indispensable el peralte.....	10
Tabla 2. Radios mínimos, factores de fricción y peraltes recomendados según la velocidad específica.....	21
Tabla 3. Velocidades calculadas para estabilidad de las curvas horizontales del tramo de 40 kph.	22
Tabla 4. Velocidades calculadas para estabilidad de las curvas horizontales del tramo de 60 kph.	22
Tabla 5. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes.	23
Tabla 6. Pendiente relativa de las curvas horizontales del tramo de 40 kph.	23
Tabla 7. Pendiente relativa de las curvas horizontales del tramo de 60 kph.	24
Tabla 8. Parámetros de las curvas horizontales del tramo de 40 kph.....	25
Tabla 9. Parámetros de las curvas horizontales del tramo de 60 kph.....	26
Tabla 10. Estacionamientos de las curvas horizontales del tramo de 40 kph.	27
Tabla 11. Estacionamientos de las curvas horizontales del tramo de 60 kph	27
Tabla 12. Estacionamientos de curvas verticales.	30
Tabla 13. Valores mínimos de parámetro de curvas verticales.....	30
Tabla 14. Datos de alineamiento vertical	31
Tabla 15. Verificación del parámetro de las curvas verticales del tramo de 40 kph.	31
Tabla 16. Verificación del parámetro de las curvas verticales del tramo de 60 kph	32
Tabla 17. Áreas de las subcuencas.....	35
Tabla 18. Coeficientes de escorrentía y áreas de uso de suelo.....	37
Tabla 19. Tiempo de concentración.....	38
Tabla 20. Geometría de la cuneta.	38
Tabla 21. Longitud máxima que puede transportar el caudal la cuneta.	39
Tabla 22. Caudales calculados para las alcantarillas en diferentes estaciones.....	42
Tabla 23. Selección de diámetros para alcantarillas circulares.....	43
Tabla 24. Dimensiones de alcantarillas de cuadro.	43
Tabla 25. Tipos de cabezales a construir en cada alcantarilla.	47
Tabla 26. Volumen de corte y relleno a partir de secciones transversales a cada 20 metros.....	49

Prefacio

El presente proyecto desarrolla el diseño vial de una de las carreteras del país como respuesta a la necesidad que tiene Costa Rica de mejorar y mantener en buen estado las rutas, lo cual contribuye tanto al desarrollo del país como a la mejora en la calidad de vida de las personas que transitan por las rutas si el tiempo que tardan transitando por estas es menor.

Las carreteras son el medio por el cual se puede transportar de un punto inicial a un punto final, idealmente en el menor tiempo posible y de manera segura, a lo cual responde un adecuado diseño y correcta evacuación de aguas.

El proyecto contempla la necesidad de los habitantes de San Pablo de Turrubares de contar con una adecuada carretera para poder comunicarse con la Ruta Nacional N.º 27, (importante vía que comunica San José con Caldera) por medio de la ruta Nacional N.º 707 con una longitud de 6.5 km.

Los objetivos presentados fueron generar alineamientos tanto horizontal como vertical, realizar el diseño de drenajes, determinar la cantidad del movimiento de tierras y, como producto de todo lo anterior, confeccionar planos y presentar especificaciones técnicas y propuesta de señalización vial.

Para realizar el diseño del mejoramiento fue necesario basarse en manuales de normativas tanto nacionales como internacionales, con el fin de trabajar con un amplio conocimiento en el campo, además de bibliografía importante tanto en el campo geométrico como hidráulico.

Se contó previamente con algunos productos del diseño por parte de la empresa, como lo son áreas de cuencas y alcantarillas; para dichos casos se realizó una revisión y en los casos que ameritaban se propusieron las respectivas correcciones.

La autora agradece primeramente a Dios por otorgarle la vida, la salud y una infinidad de bendiciones, pues sin ello hubiese sido imposible atravesar la larga carrera para llegar a este punto.

En segundo lugar, a su padre por haberle enseñado que el trabajo duro, la disciplina y el orden son pilares fundamentales en la vida, y a su madre por enseñarle el amor, la dedicación por el trabajo y la perseverancia. También agradece a sus hermanos por el apoyo incondicional en este largo camino y a su abuela por enseñarle a luchar, sonreír y vivir la vida sin importar las circunstancias.

Agradece también a la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S. A. por haberle permitido realizar la Práctica Profesional y brindarle toda la información necesaria para desarrollar este proyecto.

Por último, se extiende un gran agradecimiento al ingeniero Alejandro Medina Angulo, profesor de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica e Ingeniero diseñador en IMNSA Ingenieros Consultores S. A., por toda su ayuda y guía durante todo el proceso para finalizar adecuadamente este proyecto.

Resumen ejecutivo

El proyecto responde a la necesidad de mejorar el camino de la ruta 707 para los habitantes de San Pablo de Turrubares, como parte de una licitación del Consejo Nacional de Vialidad ejecutada por la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S. A.

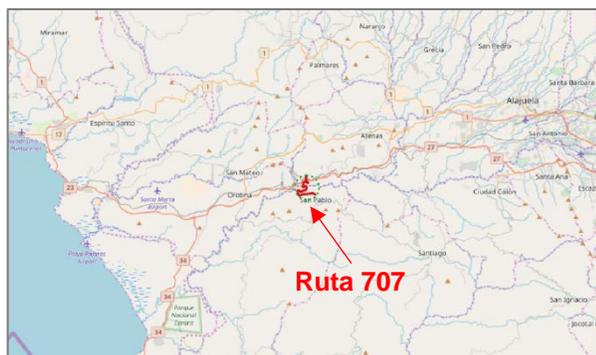


Figura 1. Ubicación de la Ruta 707.

Fuente: Elaboración propia.

La Ruta Nacional N.º 707 es utilizada por los conductores para trasladarse en sentido San José-Caldera y viceversa cuando el paso por la Ruta N.º 27 se encuentra inhabilitado; además, es utilizada también por los habitantes de San Pablo de Turrubares para llegar hasta la Ruta 27, la cual presenta un avanzado grado de deterioro. Durante la Tormenta Tropical Nate que azotó al país en octubre del 2017, esta ruta sufrió deslizamientos.

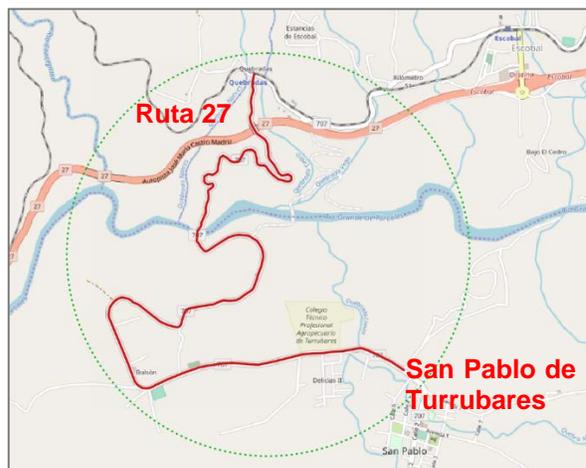


Figura 2. Recorrido del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Como respuesta a la necesidad de mejorar la vía para los habitantes de San Pablo, se realizó en este proyecto un diseño que cumpliera dentro de las posibilidades con las normas técnicas como el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la SIECA, el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010 y la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, de Saneamiento y Pluvial. Debido a la irregularidad de la topografía presente en el sitio, en algunos casos fue imposible cumplir con los criterios de diseño de los manuales, para lo cual se realizó un ajuste; de esta manera, se garantizó la seguridad y comodidad con el diseño final de la carretera.

Se realizó el alineamiento horizontal, tratando de cumplir con la mayor cantidad de radios de giro para velocidad de 40 kph en el tramo que iba desde la estación 0+000 hasta la estación 2+260, y en el segundo tramo, desde la estación 2+260 hasta la 5+960 para radios de giro que cumplieran con velocidad de 60 kph. Algunos radios no fue posible hacerlos cumplir con la velocidad requerida debido a que la topografía lo

impedía; en esos tramos se limitó la velocidad mediante la señalización propuesta, con el fin de dar a los usuarios un mensaje claro. Sin embargo, las velocidades promedio calculadas para cada tramo correspondieron a 40.51 kph en el primero y 66.79 kph en el segundo.

En cuanto al alineamiento vertical, se trazó la rasante sobre el terreno existente, con el fin de evitar movimientos de tierra excesivos, ya que, como lo que se quería era un mejoramiento, se debía respetar el camino actual, siempre revisando que las pendientes no pasaran el máximo permitido por la AASHTO de 12%. En este caso, durante todo el proyecto se cumplió este criterio, exceptuando una pendiente de 15.90% entre las estaciones 1+460 a 1+480; sin embargo, se decidió conservarla debido a que corresponde a un tramo de solamente 20 m.

Se aplicaron dos secciones típicas con anchos de carril de 3.3 m, un carril por sentido, espaldones de 1.0 m y cuneta o acera, cordón y caño según correspondiera, además de taludes de corte con relación 1:1 y de relleno con relación 2:1. Para el diseño de los drenajes se realizó un estudio hidrológico, incluyendo una gira al sitio, la cual determinó que existen 28 subcuencas que tributan agua a la carretera, todas menores a 5 km², lo cual permitió utilizar el Método Racional para el cálculo de los caudales. Se calcularon coeficientes de escorrentía que dieron como resultado 0.45 en las zonas con mayor presencia de bosques y 0.61 en las zonas con presencia escolar y residencial.

El tiempo de concentración se calculó según la pendiente de cada subcuenca y la longitud de sus cauces; para todos los casos correspondió a un tiempo pequeño, específicamente de 10 minutos, tiempo de concentración mínimo permitido por la Norma Técnica del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

La intensidad de la lluvia se obtuvo de las curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia de la estación 84-145 del Instituto Meteorológico Nacional, la cual correspondió a 145.81 mm/h para 10 minutos.

Se diseñaron 26 alcantarillas en toda la longitud del proyecto; de ellas, 20 son tuberías de 80 cm de diámetro, que corresponde al mínimo solicitado en el CR-2010 por cuestiones de mantenimiento, 3 alcantarillas con diámetro de 90 cm y una con 120 cm de diámetro, utilizando cabezales tipo CA-1 en las alcantarillas de sección

circular. Además, se diseñaron dos alcantarillas de cuadro en los puntos donde llega un mayor caudal, estas con dimensiones de 2.44x3.05 m y 1.4x2.44 m y cabezales especiales.

En el cálculo de Movimiento de tierras se obtuvo un volumen de corte de 168 729.1 m³, mientras que el volumen de relleno fue de 17 303.00 m³, lo que significó un desbalance en la Curva Masa, debido a que, para este caso, al contar con un camino existente, estabilizar la curva hubiese elevado el costo del proyecto en gran cantidad.

Finalmente, como producto de todo el proyecto, se generaron planos como una ayuda visual para la planta y el perfil del proyecto, además de láminas de secciones típicas, secciones transversales, alcantarillas más representativas y diagramas de superelevación.

Introducción

Los sistemas de transporte son de suma importancia para el país, pues influyen en el desarrollo social y por ende en la calidad de vida de los usuarios; ahí es donde surge la necesidad de diseñar y dar el mantenimiento correcto a las carreteras. Una carretera es una vía de comunicación que permite fundamentalmente a los vehículos llegar de un punto hasta otro. Si la carretera está bien diseñada y en condiciones adecuadas, puede mejorar los tiempos de desplazamiento, reducir la contaminación ambiental y los costos operativos de los vehículos, además de reducir accidentes.

Debido al alto desgaste de la carretera y la falta de un diseño formal en relación con la línea de centro y los drenajes, surge la necesidad de realizar el mejoramiento, con el fin de brindar a los transeúntes comodidad y tiempos pequeños de desplazamiento.

El presente proyecto se titula "Diseño Geométrico Vial y Secciones de Drenajes para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N.º 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la Ruta Nacional N.º 27". Para alcanzarlo se persiguieron cuatro objetivos específicos, que contemplaban un diseño integral que uniera el diseño geométrico, el diseño de drenajes y la cantidad de movimientos de tierras en guías visuales como lo son los planos.

Para lograrlo se obtuvieron todos los datos necesarios del lugar, como lo son la topografía, fotografías, estudios de suelo y características de drenajes existentes, obtenidos por la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S. A.

Durante la realización del diseño del mejoramiento, se utilizaron criterios de diseño que solicita la normativa tanto nacional, como internacional que aplicara para las condiciones que se tenían. Dentro de la

normativa utilizada se puede mencionar el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la SIECA, el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010 y la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, de Saneamiento y Pluvial del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito y los criterios para carreteras de la AASHTO.

La superelevación de la carretera tuvo que ser ajustada en algunos tramos, ya que, debido a la irregularidad de la topografía presente, fue imposible cumplir con las longitudes solicitadas por las normas de diseño.

En cuanto a los drenajes menores, se calcularon los caudales para poder proponer las secciones de alcantarillas que los abastecieran; para ello se utilizó el Método Racional, que permite calcular caudales para subcuencas con áreas menores a 5 km².

Se diseñaron alcantarillas con control a la entrada, con el fin de que la carga hidráulica nunca sobrepase el nivel de altura de la sección propuesta.

Se logró realizar los diseños propuestos, haciendo el seguimiento de los objetivos específicos, con el fin de llegar a una satisfactoria conclusión de los objetivos del proyecto.

En los casos donde no se logró cumplir con las normas de diseño, se dejó constancia de las medidas que regularán el paso, de manera que no se afecte en todo el recorrido la seguridad de los vehículos que transiten por la ruta.

Objetivos

Objetivo general

Realizar el diseño geométrico y de drenajes menores de la Ruta Nacional No.707, con el uso de software de análisis para el diseño geométrico y así generar la documentación necesaria para el mejoramiento de la ruta.

Objetivos específicos

1. Generar los alineamientos de la vía diseñando un tramo para velocidades de hasta 40kph en los primeros 2.26km y velocidades de hasta 60kph en la longitud restante, colocando aceras entre las estaciones 4+600 y 5+200.
2. Diseñar los drenajes menores necesarios para el funcionamiento adecuado de la carretera, cumpliendo con las normas nacionales.
3. Determinar la cantidad de movimiento de tierras requeridos por el diseño geométrico y la curva masa.
4. Confeccionar planos constructivos, especificaciones técnicas, notas y proponer señalización vial horizontal y vertical que permitan la construcción del proyecto.

Marco teórico

Controles de localización

Mapa de cuencas

Generar un mapa de cuencas previo al diseño de una carretera es fundamental para conocer “toda el área que genera escorrentía aguas arriba de un punto de referencia en el cauce común”.¹ De esa manera, se pueden realizar los diseños de drenajes tomando en cuenta que el agua seguirá su curso sin importar la ubicación de la carretera; por lo que, si no se diseñan los drenajes, la carretera sufrirá el efecto del agua. Para poder analizar la cuenca, se “analiza a partir de un punto de referencia en el cauce principal. Cada punto de estos genera una cuenca hidrográfica con un área colectora diferente”.²

“La urbanización genera diferentes impactos en el ciclo del agua, que tienden a causar pérdidas en cuanto a los usos potenciales del agua”³; por ejemplo, cuando se impermeabiliza el suelo y se disminuyen los tiempos de concentración, crecen los caudales instantáneos de escorrentía, las concentraciones en los cursos del agua y con ello la frecuencia con que se dan las inundaciones.

¹ Hernández, E. (1993). *Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas*. Mérida, Venezuela: Food & Agriculture Org.

² Hernández, E. (1993). *Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas*. Mérida, Venezuela: Food & Agriculture Org.

Hidrología

Mediante la hidrología se pueden determinar y analizar distintos fenómenos como lo son el caudal máximo y mínimo, el nivel freático, etc. Además, mediante la hidrología se puede evaluar la calidad del agua y la cantidad del transporte de sedimentos por el agua.

Hidráulica

La hidráulica se encarga de los diseños para disponer aguas de origen pluvial, los cuales son conocidos como drenajes, de manera que la carretera nos sufra los efectos producidos por el agua. “Estos efectos del agua son los que ocasionan los mayores impactos pues, cuando se producen, deterioran aceleradamente la infraestructura de la carretera como lo demuestran las emergencias frecuentes en las vías coincidiendo con los periodos de lluvias”.⁴

³ Torres, A. (2004). *Apuntes de clase sobre hidrología urbana*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

⁴ Pescetto, C. J. P. (2014). *Hidrología en carreteras y caminos*. Recuperado de https://www.academia.edu/21258569/Hidrologia_en_carreteras_y_caminos

Intersecciones

“Las intersecciones constituyen elementos de discontinuidad en la red carretera y por lo tanto representan puntos críticos que hay que tratar de forma especial, ya que los vehículos realizan en ellas maniobras inusuales en los recorridos de la red”.⁵ Las intersecciones se pueden clasificar en intersecciones a nivel, a desnivel y pasos a desnivel; para determinar cuál de los tres es ideal utilizar se deben “considerar conjuntamente los volúmenes de tránsito del proyecto, los movimientos direccionales, el costo, la topografía y la disponibilidad del derecho de vía, resultando frecuentemente una solución intermedia”.⁶

Topografía

Se deben obtener puntos de levantamiento topográfico con el fin de conocer el terreno existente y poder adecuar el diseño a este.

El levantamiento debe resultar como una “representación plana de una parte de la superficie terrestre con todos sus detalles”.⁷ Esto es importante para poder determinar los movimientos de terreno de manera que el corte y relleno sean balaceados.

Geología

Es importante conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar y si hay rellenos o no; por esto, realizar estudios de campo es fundamental tanto para el diseño, como para la construcción.

“Los estudios de campo deben incluir un uso lo más completo posible de los recursos que proporciona la geología, pues su utilización implica un relativo bajo costo, en cambio puede tener repercusiones muy grandes sobre la información en que en un momento dado haya de basarse el ingeniero proyectista de la obra vial”.⁸

⁵ Alonzo, L. & Rodríguez, G. (2005). *Carreteras*. Yucatán, México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.

⁶ Alonzo, L. & Rodríguez, G. (2005). *Carreteras*. Yucatán, México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.

⁷ García, A., Rosique, M. & Segado, F. (1994). *Topografía básica para ingenieros*. Murcia, España: EDITUM.

⁸ Rodríguez, A. R. & Castillo, H. del. (2006). *Ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. México: Editorial Limusa.

Controles de diseño

Los controles de diseño se utilizan como consideraciones que deben tomarse en cuenta a la hora de realizar los diseños, contrario a los controles de localización que

son estudios preliminares que se necesitan para iniciar los diseños.

Derecho de vía

Es “aquella área o superficie de terreno, propiedad del Estado, destinada al uso de una vía pública, con zonas adyacentes utilizadas para todas las instalaciones y obras complementarias. Esta área está delimitada a ambos lados por los linderos de las propiedades colindantes”.⁹

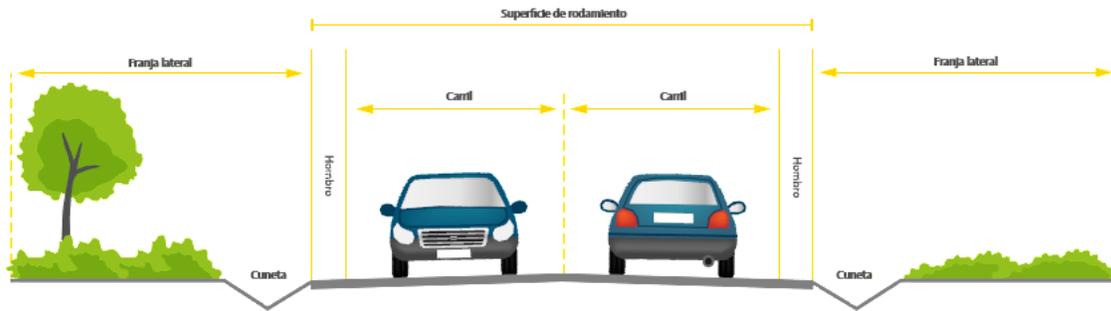


Figura 3. Derecho de vía de una carretera.
Fuente: Campos, 2017.

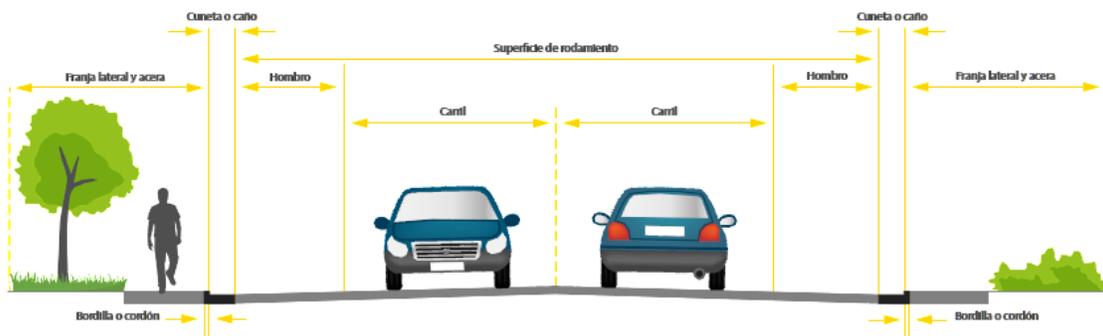


Figura 4. Derecho de vía de una carretera.
Fuente: Campos, 2017.

⁹ Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010*, Costa Rica.

Ancho de carril

El ancho de carril debe ser suficiente para que circule el vehículo tipo más grande que estará presente en la carretera; estos suelen ser de tres metros y medio (3.5 m), y en algunas carreteras de menor circulación, como rurales, se establece en tres metros (3.0 m).¹⁰

Espaldones

Estos se encuentran contiguos a los carriles de la carretera; son útiles para que los vehículos que se detienen posean un adecuado espacio sin interferir en el derecho de vía, ya sea para emergencias o imprevistos. Además, según CR-2010, sirve como soporte lateral a la estructura de pavimento.¹¹

Pendientes

La pendiente máxima es “la máxima longitud en subida sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Se considera que la longitud crítica es aquella que ocasiona una reducción de 25 km/h en la velocidad de operación de los vehículos pesados, en pendientes superiores al 3%”¹². Por su parte, “La pendiente mínima es la pendiente mínima que se permite en el proyecto. Su valor se fija para facilitar el drenaje superficial longitudinal, pudiendo variar según se trate de un tramo en terraplén o en corte y de acuerdo al tipo de terreno”.¹³

Curvas

“Es el elemento en el diseño donde se unen dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio

gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida”.¹⁴ Estas curvas deben tener una pendiente como se muestra en la figura 5, de tal manera que la fuerza centrífuga no sea capaz de sacar al vehículo de la curva y la fuerza centrípeta sea mayor, que es la encargada de mantener al vehículo dentro de la curva.

Bombeo

Es la pendiente necesaria para que el agua que cae sobre la carretera pueda ser evacuada hacia los drenajes. El bombeo debe dirigirse desde el centro de la calzada hacia ambos lados de esta; sin embargo, en las curvas, el bombeo debe ir hacia una sola dirección, tal y como se muestra en la figura 5.

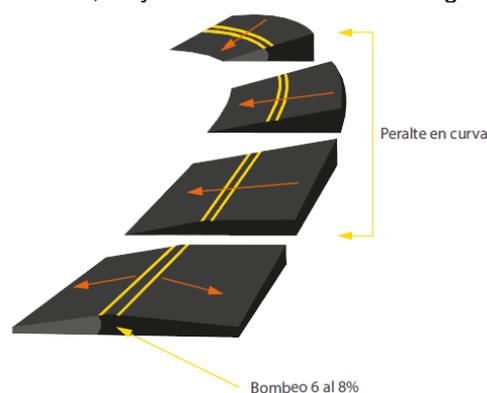


Figura 5. Esquema de bombeo en la carretera.

Fuente: Ávila, 2017.

Eddy Scipión, en el Manual de Normas de Diseño de carreteras, propone la tabla 1, la cual establece los valores de radios y velocidades para los cuales cuando se sobrepase el valor del radio no se necesitará utilizar peralte.¹⁵

¹⁰ Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2001). *Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales*. Guatemala.

¹¹ Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010*. Costa Rica.

¹² Cárdenas, J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.

¹³ Cárdenas, J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.

¹⁴ Cárdenas, J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.

¹⁵ Scipion, E. (1999). *Diseño de Carreteras. Normas DG. Caminos I*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Tabla 1

Valores de radio por encima de los cuales no es indispensable el peralte

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
R (m)	1000	1400	1800	2300	2800	3400	4100	5000

Fuente: Scipión, 1999.

Drenaje

Los drenajes tienen como fin principal evacuar las aguas que caen sobre la calzada; estos deben ser diseñados tomando en cuenta el índice de lluvias de donde se localizará la carretera, pueden ser transversales (puentes, pasos a desnivel) o longitudinales (cunetas, caños, etc.)

“En el sistema de drenaje de una ciudad pueden distinguirse dos partes: el sistema de alcantarillado y el sistema principal que drena el agua superficial o el flujo excedente”.¹⁶

Alcantarilla

Las alcantarillas se encargan de dar paso al agua de un lado al otro de la carretera, estas pueden ser circulares o de cuadro, deben llevar su respectivo cabezal y tragante para proteger la alcantarilla de las presiones del agua que entra y sale de ellas.

Para el diseño de las alcantarillas se debe calcular cuidadosamente el caudal real que llegará al punto donde se colocará la alcantarilla, de manera que la sección escogida admita el paso de un caudal mayor que el real.

En algunos casos se pueden diseñar baterías, que consisten en colocar dos o más secciones iguales en conjunto.

“Se ubican en los puntos donde existan corrientes de agua que cruzan la carretera, en el fondo de depresiones donde

no existan cursos naturales de agua, para descargar una cuneta de un lado a otro de la vía, y en las curvas verticales cóncavas. Se debe buscar cruzar la carretera en ángulo recto en interés de la economía del proyecto, sin embargo, la alcantarilla es importante que siga el cauce natural del cuerpo de agua”.¹⁷

Cuneta

Las cunetas tienen la función de recoger el agua que tributa desde las cuencas y desde la calzada, con el fin de canalizarla hasta las alcantarillas.

Suelen ser de sección triangular o trapezoidal; por cuestión de economía y mantenimiento, se busca que sean poco profundas; además, se debe tratar de que la sección sea constante para que dé una buena apariencia y sea más fácil de construir.¹⁸



Figura 6. Cuneta triangular.

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.,2008.

¹⁶ Pescetto, C. J. P. (2014). *Hidrología en carreteras y caminos*. Recuperado de https://www.academia.edu/21258569/Hidrologia_en_carreteras_y_caminos

¹⁷ Morales, H. (2006). *Ingeniería Vial I*. INTEC.

¹⁸ Crespo, C. (2007). *Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*. México: Editorial Limusa.

Método racional

Este método es útil para estimar la escorrentía de manera simple, mediante la siguiente ecuación¹⁹.

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \quad (1)$$

Donde:

Q = Volumen o caudal de escorrentía [m³/s]

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de la lluvia [mm/h]

A = Área de la vertiente o cuenca [km²]

Este método, sin embargo, posee algunas limitaciones; según Brière y Pizarro²⁰, pueden ser los que se detallan a continuación:

- El método considera que la lluvia cae uniformemente sobre la cuenca.
- Solo se puede aplicar para cuencas pequeñas²¹ (menores a 5 km² según la Norma Técnica del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados)
- No toma en cuenta las condiciones anteriores a la lluvia, como si la cuenca está seca, donde no ha llovido en varios días o anegada, donde ha recibido agua recientemente; para contrarrestar esto, se puede utilizar un coeficiente de escurrimiento variable con el tiempo.
- Para que el caudal de escurrimiento máximo de la cuenca corresponda al resultado de una lluvia uniforme que cae durante el tiempo de concentración, se supone que la cuenca tiene forma rectangular para relacionar proporcionalmente la duración de la lluvia y la superficie de la cuenca. En caso contrario, el caudal máximo podría presentarse con lluvias de una duración inferior al tiempo de concentración de la cuenca y una mayor intensidad en el mismo período de retorno.

¹⁹ Núñez, J. (2001). *Manejo Y Conservación de Suelos*. San José, Costa Rica: EUNED.

²⁰ Brière, F. & Pizarro, H. (2005). *Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia*. Canadá: Presses inter Polytechnique.

²¹ Viessman, W. & Hammer, M. (2009). *Water supply and pollution control*. (8th Ed.). Upper Saddle River, N.J: Pearson.

Tiempo de concentración

“El tiempo de concentración es cuando la cantidad de agua de lluvia que ingresa a la cuenca (mientras ocurre una tormenta de alta intensidad) llega al sitio de drenaje principal de la cuenca luego de que el suelo se ha saturado, y el agua que llena las depresiones de las laderas se ha derramado”.²²

La ecuación de Kirpich desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California es la siguiente:

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2)$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración

L: Longitud del curso de agua más largo

H: Diferencia de elevación entre la divisoria de aguas y la salida.

Cabe destacar que este tiempo resulta muy bajo mediante esta ecuación; se debe usar un mínimo de 10 minutos.²³

Intensidad de la lluvia

La intensidad de la lluvia depende directamente del tiempo de concentración, el cual es “el tiempo teórico que demora una gota de agua que cae en el sitio más alejado del punto de salida final de la cuenca, luego de que el suelo y las microdepresiones cóncavas del relieve se saturan con agua”.²⁴

Estado de flujo

El estado de flujo depende del efecto de la gravedad; existen tres: crítico, subcrítico y supercrítico, los cuales se pueden medir según el número de Froude, el cual está definido por la ecuación (3).

²² Núñez, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos*. San José, Costa Rica: EUNED.

²³ Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, de Saneamiento y Pluvial*. San José, Costa Rica.

²⁴ Núñez, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos*. San José, Costa Rica: EUNED.

Cuando el número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$, subcrítico), las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo es lento y tranquilo; cuando el número es igual a la unidad ($F = 1$, crítico) las fuerzas de inercia están en equilibrio con las de gravedad; por el contrario, si el número es mayor a la unidad ($F > 1$, supercrítico), las fuerzas de inercia son predominantes, por lo que el flujo tiene una gran velocidad. Estos tres estados se pueden observar en la figura 7.²⁵

En el caso de las alcantarillas, se prefiere diseñar con flujo supercrítico, debido

a que comprende el tramo donde hay una ganancia o pérdida de energía y el flujo presenta una mayor velocidad.

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3)$$

Donde:

V: Velocidad media del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

L: Longitud característica o profundidad hidráulica (At/b)

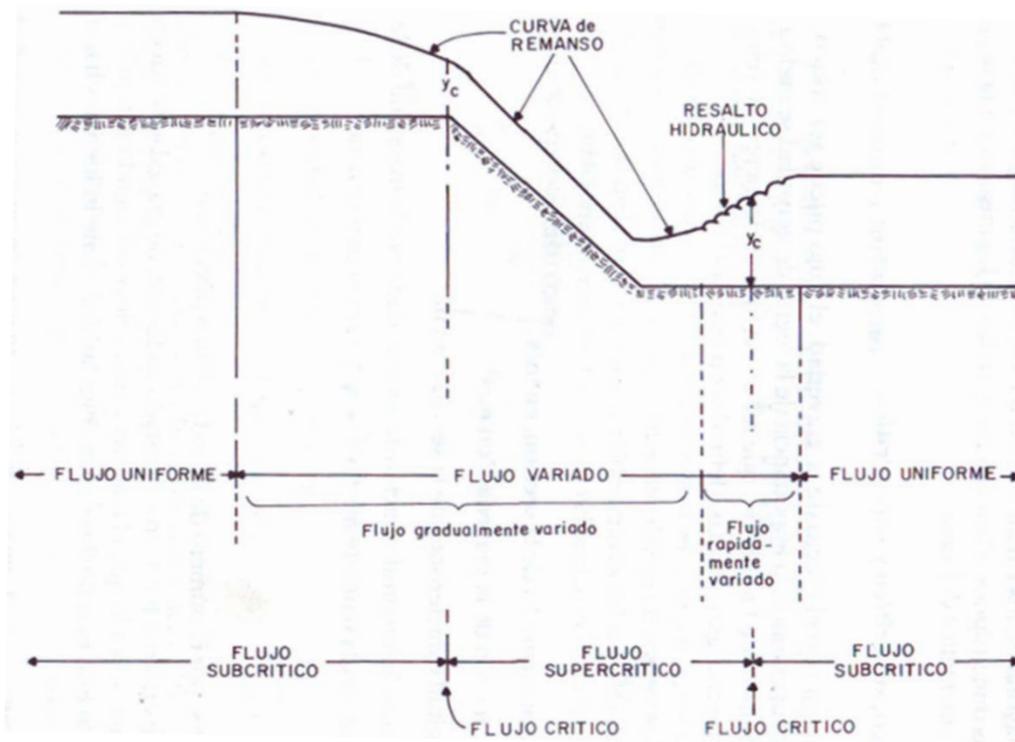


Figura 7. Estados de flujo según estado de fuerzas inerciales y gravitacionales.
Fuente: Villón, 2004.

²⁵ Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Distancias de visibilidad

Es importante tomar en cuenta las distancias de visibilidad en el diseño de la carretera, ya que esto brinda tanto comodidad como seguridad a los conductores. “Es la longitud continua hacia delante del camino, que es visible al conductor del vehículo. Se consideran dos, la de visibilidad suficiente para detener el vehículo y la necesaria para que un vehículo adelante a otro que vaya en velocidad inferior, en el mismo sentido” .²⁶

Alineamiento horizontal

Este tipo de alineamiento se realiza en la vista en planta del terreno; se traza según las curvas de nivel, de manera que se eviten los cambios de elevación bruscos y que el movimiento de terreno sea el menor posible. Aquí se obtienen curvas horizontales y tangentes.

El CR2010²⁷ estipula que la línea central no debe desviarse más de 3 m del centro de la explanación y los radios de curvatura pueden reducirse hasta un 50% siempre y cuando no sean menores a 30 m.

Alineamiento vertical

Este alineamiento es la vista transversal del alineamiento horizontal; con este alineamiento se definen las curvas verticales y las tangentes.

Rasante

Con la rasante se define el nivel de la explanación; es decir, es el nivel del terreno posterior a realizar los cortes y rellenos.

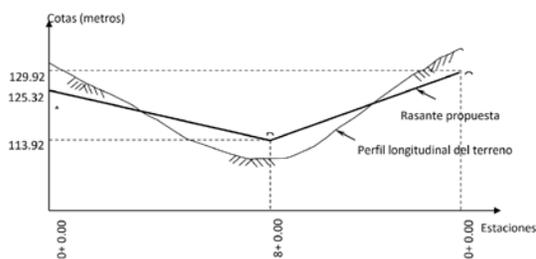


Figura 8. Perfil longitudinal que muestra rasante, cortes y rellenos.

Fuente: Fienco, Bravo, Guachisaca, Jaramillo & Fienco, 2017.

²⁶ Scipion, E. (1999). *Diseño de Carreteras. Normas DG. Caminos I*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

²⁷ Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010*, Costa Rica.

Corredor

En el corredor se colocan los resultados de las pendientes determinadas para el bombeo, el ancho de carril establecido, cunetas o caños, espaldones, aceras y todos los elementos que hagan falta, como pueden ser también las medianas, la base, subbase y calzada; este se refiere a la sección transversal de la carretera que se colocará a lo largo del alineamiento propuesto, sobre la rasante. “Cada corredor

tendrá una demanda de transporte diferente y su determinación pertenece al proceso de planificación”.²⁸

Además, “Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento u otros”.²⁹

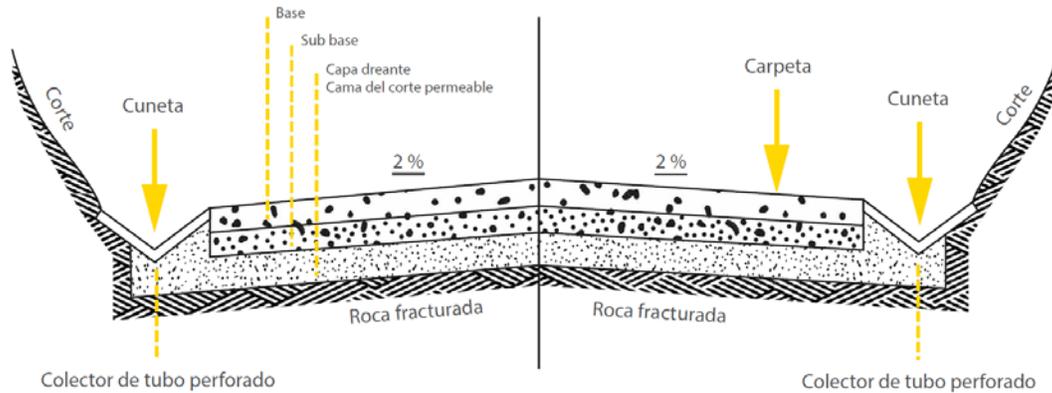


Figura 9. Corredor de la carretera.
Fuente: Aguilar, 2017.

Diagramas de superelevación

Estos diagramas muestran la inclinación asociada con el peralte para facilitar el movimiento seguro de los vehículos sin peligros de deslizamientos.

“Para pasar de una sección transversal con bombeo normal a otra con peralte, es necesario realizar un cambio de inclinación de la calzada.

Este cambio no puede realizarse bruscamente, sino gradualmente a lo largo de la vía entre este par de secciones. A este tramo de la vía se le llama longitud de transición.

Cuando sólo se dispone de curvas circulares, se acostumbra a realizar una parte de la

transición en la recta y la otra parte sobre la curva”.³⁰

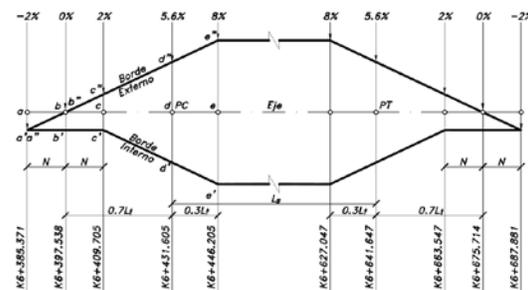


Figura 10. Estructura de diagrama de superelevación.

Fuente: Cárdenas, 2013.

²⁸ Dobles, M. (2013). *Trazado y Diseño Geométrico de Vías* (2a ed.). San José, Costa Rica: Editorial UCR.

²⁹ Scipion, E. (1999). *Diseño de Carreteras. Normas DG. Caminos I*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

³⁰ Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.

Características del tránsito que circulará por la carretera

Tipos de flujo

Continuo

En este tipo de flujo, el vehículo “solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico... Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas intermedias, etc.”.³¹

Discontinuo

“Las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda, el paso, etc.”.³²

Velocidad

Definir la velocidad a la hora de diseñar es de suma importancia, ya que a partir de ella se calculan las curvas que conformarán los alineamientos tanto vertical como horizontal. Esta velocidad se especifica en la señalización en la vía, ya que si se circula a mayor velocidad de la de diseño es peligroso que el vehículo se salga de la curva.

³¹ Morales, H. (2006). *Ingeniería Vial I*. Santo Domingo, República Dominicana: INTEC.

³² Morales, H. (2006). *Ingeniería Vial I*. Santo Domingo, República Dominicana: INTEC.

Señalización

Para la colocación de dispositivos de control de tránsito en una vía se debe cumplir con los requisitos estipulados en el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito de la SIECA.

Los dispositivos de control de tránsito, según la SIECA, deben colocarse si existe una necesidad para utilizarlos; deben llamar la atención positivamente, dar un mensaje claro y conciso, estar ubicados de manera que permitan un adecuado tiempo de reacción y respuesta, infundir respeto y ser uniformes en forma, color, dimensiones, leyendas, iluminación y retroreflectividad.

“La decisión de utilizar un dispositivo en particular en una localización determinada, deberá basarse en un estudio de ingeniería de tránsito de ese sitio”³³.

A la hora de colocarlas, se debe tener cuidado de no exceder en su uso, ya que pueden perder efectividad.

El tamaño y forma debe respetarse según indica en sus estándares el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito de la SIECA.

Los colores seleccionados por la SIECA para transmitir la información de control de tránsito se pueden observar en los Anexos 4 y 5, los cuales son amarillo, naranja, rojo, verde, blanco, negro, azul, café y amarillo limón.

El mantenimiento de los dispositivos de control de tránsito es indispensable, de manera que siempre transmitan un mensaje claro y legible para los que transitan por la vía.

Señales verticales

Estas señales se utilizan para reglamentación, prevención e información, su colocación y tipos dependen de si están colocadas en autopistas (velocidades mayores a 80 kph) o vías convencionales.

Se deben colocar al lado derecho de la carretera, exceptuando cuando hay presencia de curvas pronunciadas hacia la

derecha que se colocan directamente en frente de los vehículos que se aproximan, o en situaciones especiales como por ejemplo cuando se tienen autopistas con muchos carriles donde los vehículos de los carriles externos pueden bloquear la visibilidad de los de los internos, en cuyos casos se colocan señales elevadas complementarias.

Estas señales colocadas al lado de la carretera en zona rural deben tener una altura de 2 metros desde el borde de la superficie del pavimento hasta la parte inferior de la señal, y cuando exista más de una señal en un poste dicha altura se reduce a 1.8m y un espacio lateral entre 0.6m y 1.20m desde el borde del espaldón. En zona urbana la altura debe ser de al menos 2.10m para evitar que los peatones choquen con la señal y un retiro de la señal desde el cordón de la acera de 0.6m.³⁴

Señales horizontales

Estas señales se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías; tienen el fin de canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos y deben ser retroreflectivas y antideslizantes.

Funcionan como complemento a otras señales o advertencias y también transmiten instrucciones que no pueden hacerlo otro tipo de señales.

Dentro de sus limitaciones se encuentra la baja visibilidad en pavimentos húmedos (lo cual se trata de contrarrestar con captaluces), condiciones climáticas especiales, además de que sufren desgaste debido al tránsito que sobre ellas circula, especialmente cuando este es intenso y que se perciben a menor distancia que otro tipo de señales como las verticales.

A pesar de sus desventajas, este tipo de señales aumenta considerablemente la seguridad de los conductores, ya que no deben desviar su atención de la carretera para recibir la señal.

Se clasifican en:

- Demarcación de pavimentos
- Demarcaciones para indicar restricción de estacionamiento

³³ Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala.

³⁴ Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala.

Elementos de las curvas

Una curva consta de distintos parámetros, los cuales deben ser calculados; generalmente, el parámetro que se tiene inicialmente es el radio, por lo que a partir de este se calculan con las siguientes ecuaciones.

Velocidad

$$V = \sqrt{127.15 * R * (i + f)} \quad (4)$$

Tangente

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2} \quad (5)$$

Externa

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2} - 1} \right) \quad (6)$$

Longitud de la cuerda

$$Lc = \frac{\pi \Delta R}{180} \quad (7)$$

Cuerda larga

$$CL = 2R \operatorname{sen} \frac{\Delta}{2} \quad (8)$$

Gradiente

$$G = 2R \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{C}{2R} \right) \quad (9)$$

Mediana

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad (10)$$

Longitud de transición

$$Lt = \frac{\text{ancho carril} * e}{m} \quad (11)$$

Longitud de aplanamiento

$$N = \frac{\text{ancho carril} * bombeo}{m} \quad (12)$$

K

$$K = \frac{L}{|g2 - g1|} \quad (13)$$

Metodología

El proyecto realizado corresponde a la Ruta N.º 707, que une la Ruta N.º 27 con San Pablo de Turrubares, la cual funciona como vía alterna cuando el paso por la Ruta N.º 27 está inhabilitado. Es así como en ocasiones se incrementa el paso de vehículos pesados que se dirigen o provienen del puerto Caldera; además, es una ruta altamente dañada que presenta peligro para los habitantes de San Pablo cuando transitan por ella; por lo tanto, se requiere realizar un diseño adecuado para garantizar el paso seguro por la ruta, el cual se desarrolló en este proyecto.

Primeramente, se debía identificar los elementos necesarios para poder llevar a cabo el diseño; se obtuvieron los estudios de campo, los cuales fueron efectuados por la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S. A. (topografía, geología, uso de suelo); luego, se realizó la investigación de los términos generales que se muestran en el Marco teórico.

Posteriormente, se generó una superficie de curvas de nivel con ayuda del *software* Autodesk CIVIL3D y los puntos topográficos brindados por la empresa, la cual sería necesaria para generar los alineamientos de la carretera a diseñar.

Se realizó una gira al sitio para poder observar la topografía y la dimensión de los cerros que afectan las cuencas; también, se observó el funcionamiento de las alcantarillas existentes y el tipo de suelo. En su mayoría, el camino presenta tratamiento superficial con asfalto; sin embargo, se determinó que la falta de un adecuado manejo de aguas hace que el material se lave principalmente en las zonas con mayor pendiente. Todo este análisis se desarrolló con el fin de tener una mejor visión del proyecto a diseñar.

Se trazó el alineamiento horizontal en el *software* CIVIL3D, y con los radios de las curvas obtenidos se procedió a revisar que cumplieran para las velocidades. En el cartel de licitación se solicitó diseñar para 40 kph desde la estación 0+000 hasta la 2+260 y 60 kph desde la estación 2+260 hasta la 6+360; en los casos en que el radio

no cumpliera para la velocidad de diseño, se debió restringir las velocidades hasta que cumplieran, ya que el camino no permitía la variación de los radios iniciales.

Se obtuvo el perfil del terreno existente por donde pasa el alineamiento horizontal, con el objetivo de generar el alineamiento vertical de la carretera. El CR-2010 no permite variar la pendiente más del 2% de la pendiente existente, por lo cual se realizó la revisión de manera que la rasante no variara más que lo permitido con respecto al terreno existente.

En las curvas verticales, se revisó que el parámetro de la curva calculado según su longitud y gradientes de entrada y salida fuera menor que el K mínimo que proporciona la AASHTO según las velocidades, de manera que cuando no cumplieran se realizara la corrección adecuada para que la velocidad estimada fuera mayor o al menos igual que la velocidad de diseño.

Los diagramas de superelevación se realizaron calculándolos con ayuda de Microsoft Excel, con el que se obtuvo la longitud de aplanamiento, la longitud de transición y el bombeo para cada una de las curvas; se dibujaron con ayuda de AutoCAD para poder representar la variación del peralte a lo largo de la curva, utilizando un bombeo de 2%. En los casos en que se traslapaba el diagrama, se realizó una corrección en la cual el punto en donde se intersecaban ambos lados de la carretera se subía hasta el punto de peralte máximo.

Las secciones típicas de camino se definieron según dimensiones establecidas en el cartel de licitación y sección de cuneta diseñada en este proyecto; la sección típica 1 fue aplicada al diseño de las estaciones 0+000 a 4+600 y 5+200 a 5+965, mientras que la sección típica 2 fue aplicada entre las estaciones 4+600 a 5+200, donde está la zona residencial y escolar.

Para el diseño de los drenajes fue necesario calcular el área de las cuencas que tributan a la carretera, las cuales debían ser

pequeñas (menores a 5 km²) para poder hacer uso del Método Racional.

El cartel solicitaba que se usaran preferiblemente las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional 1:10000; sin embargo, para la zona donde se trabajó, dichas hojas no estaban disponibles, por lo que se utilizó la hoja Río Grande con escala 1:50000. Se hizo uso de los datos del SNIT y del ATLAS CR2014 como apoyo adicional, para revisar los datos obtenidos de las hojas del IGN y también del Modelo de Elevación Digital del satélite Alos Palsar de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), así también como lo observado en campo.

Los pasos de agua en la carretera se determinaron con ayuda tanto de las curvas como de los puntos donde ya se encuentran ubicadas las alcantarillas, realizando una revisión para determinar si los estados de las que ya están construidas son adecuados, además de si las dimensiones soportan los caudales estimados a 25 años.

El coeficiente de escorrentía utilizado fue el promedio correspondiente a cada una de las áreas de las cuencas, tomando los valores de Chow, Maidment & Mays (1988) según si el uso del suelo era bosque, pastos, casas o pavimentos. Cabe destacar que los promedios utilizados fueron para realizar los diseños de las alcantarillas; en el caso de las revisiones de los diseños de las cunetas, el coeficiente utilizado fue un promedio de cobertura de asfalto y pastos, ya que el agua que tendrá escorrentía hacia estos es la que vendrá de la carretera y los taludes.

Para el cálculo del caudal de diseño se utilizó un período de retorno de 25 años que solicitaba el cartel para drenajes menores, y junto con el área de las cuencas determinadas previamente se encontró el tiempo de concentración para cada una de ellas, con el fin de determinar el caudal mediante el Método Racional y así compararlo con el caudal máximo permitido por la sección diseñada para cada tramo, para las cuales se partió de las propuestas inicialmente por la empresa para realizar una revisión y las propuestas de correcciones necesarias.

Además, se revisaron las alcantarillas para determinar si se comportaban con control a la entrada o a la salida, por medio de los nomogramas de la *Bureau of Public Roads*. Se buscaba que se comportaran con control a la entrada para evitar problemas a la hora de realizar

los refuerzos de concreto en las entradas o salidas.

Para determinar los cabezales utilizados en cada alcantarilla, se utilizó el Manual de Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Para el cálculo del Movimiento de tierras se utilizó el *software* CIVIL3D; además, se realizó el cálculo a mano para corroborar el resultado, utilizando las secciones transversales obtenidas igualmente con ayuda de CIVIL3D a cada 20 m, midiendo el área tanto de corte como de relleno de la sección y multiplicándolo por la longitud entre una sección y otra, que en este caso fue de 10 m a cada lado de la estación. Una vez que se obtuvieron las cantidades de corte y relleno para cada estación, y el acumulado, se procedió a realizar el gráfico de curva masa restando el corte al relleno en cada una de las estaciones y generando el gráfico con dichos resultados.

Se realizó una propuesta de señalización vial utilizando el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la SIECA (2014). En el caso de señalización vertical, fue de suma importancia tomar en cuenta las velocidades máximas permitidas según los radios presentes en el alineamiento horizontal, así como para curvas peligrosas donde los radios son pequeños, apegándose a las especificaciones en cuanto a colocación, colores y simbología descritos en el manual, además para la señalización horizontal tomando en cuenta las salidas hacia otros caminos, y las dimensiones de la sección típica propuesta para la colocación de las rayas que delimitan cada parte.

Las especificaciones técnicas fueron elaboradas con todos los criterios, normas y demás aspectos importantes utilizados durante el diseño.

Por último, para la generación de los planos se utilizaron todos los datos previamente obtenidos en el proceso de diseño, se generaron láminas de planta y perfil del camino, además de secciones típicas, diagramas de superelevación y secciones transversales, especificando en cada una de las láminas los valores más relevantes como dimensiones y datos de las curvas, entre otros.

Adicionalmente, se elaboró una aplicación para celular, llamada INFROPORYECTOS, la cual se elaboró mediante la página web App.Inventor, cuya plataforma es elaborada por el MIT. La

aplicación consiste en mostrar una herramienta donde se puedan transportar los datos de diseño de un proyecto, mediante tablas de atributos. Además posee una calculadora de parámetros de curvas, velocidades y ángulos curva grado, para poder facilitar los cálculos en un dispositivo móvil.

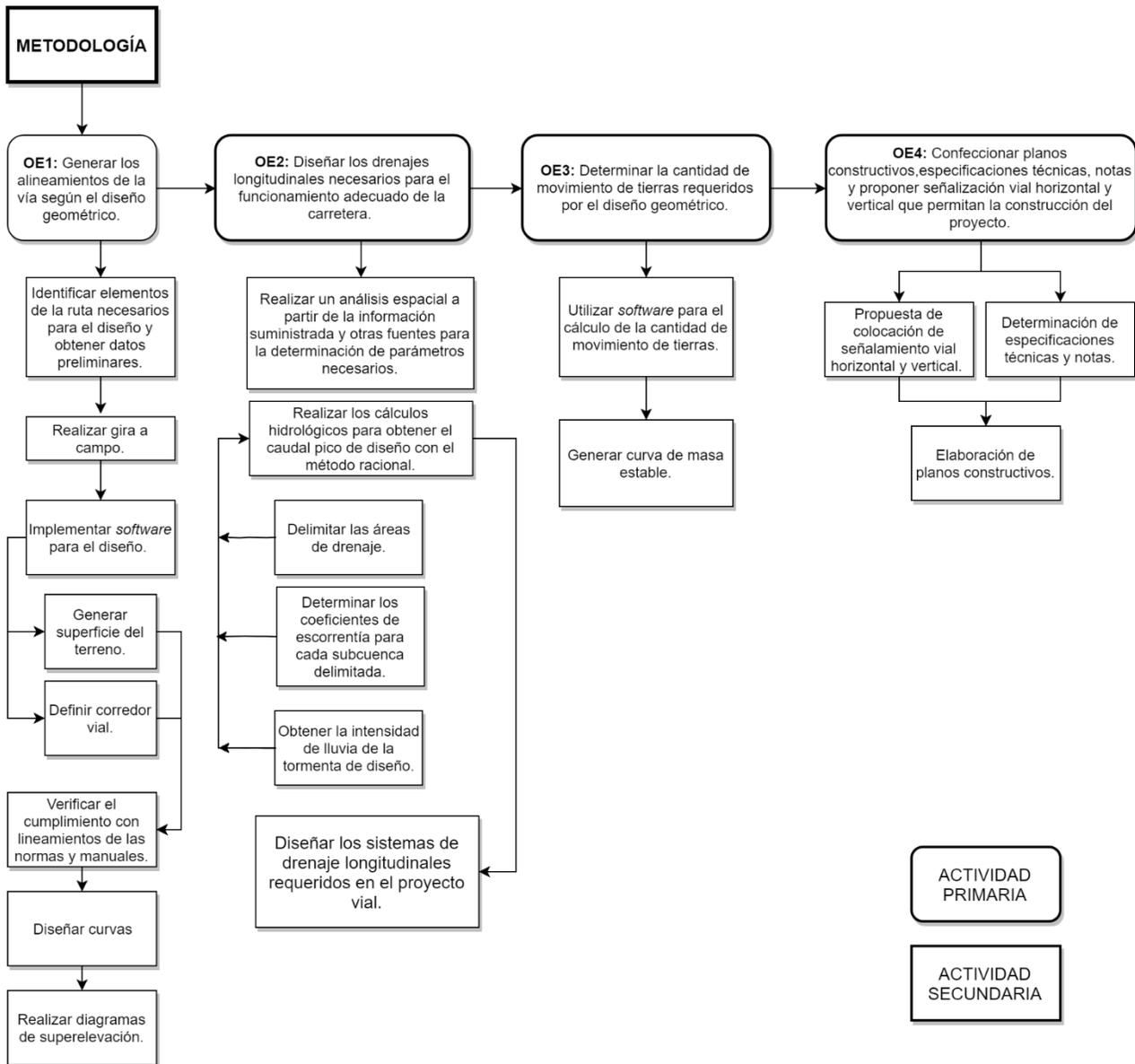


Figura 11. Metodología utilizada en el proyecto.

Fuente. Elaboración propia.

Resultados

Diseño geométrico

Para realizar el diseño geométrico se respetaron los requerimientos estipulados tanto en el Cartel de Licitación del proyecto, como en el CR-2010 y el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales de la SIECA.

Se trazó el alineamiento horizontal y se obtuvieron los radios de las curvas, los cuales se revisaron para que cumplieran con la velocidad de diseño estipulada en el cartel. Para ello se utilizaron los datos de la tabla 2:

Tabla 2
Radios mínimos, factores de fricción y peraltes recomendados según la velocidad específica

Estabilidad de vehículos en curvas				
V(kph)	i max(%)	f'	R Mín	
			Calc (m)	Red (m)
30	8.0%	0.18	27.256	30
40	8.0%	0.172	49.994	50
50	8.0%	0.164	80.676	80
60	8.0%	0.157	119.605	120
70	8.0%	0.149	168.483	170
80	7.5%	0.141	233.304	235
90	7.0%	0.133	314.185	315
100	6.5%	0.126	412.252	415
110	6.0%	0.118	535.256	535
120	5.5%	0.110	687.187	690
130	5.0%	0.100	887.139	890
140	4.5%	0.094	1110.293	1100
150	4.0%	0.087	1395.000	1400

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del MOPT, 2008.

Donde:

V: velocidad específica

i MAX: peralte máximo recomendado

f': fricción transversal

R: radio mínimo

Se calcularon las velocidades estimadas con la tabla 2 y se verificó la condición con respecto a la velocidad de diseño, que según solicitó el cartel las estaciones 0+000 a 2+260 tendrán una velocidad de 40 kph, mientras que de la estación 2+260 en adelante, una velocidad de 60 kph. La verificación se cumple si sucede la siguiente condición:

$$V \text{ estimada} > V \text{ diseño}$$

Tabla 3
Velocidades calculadas para estabilidad de las curvas horizontales del tramo de 40 kph

# Curva	R (m)	f'	i (%)	V Esp (kph)	Cumple
1	50	0.172	8.0%	40.03	Sí
2	60	0.169	8.0%	43.61	Sí
3	28	0.181	8.0%	30.47	No
4	28	0.181	8.0%	30.47	No
5	40	0.176	8.0%	36.08	No
6	30	0.180	8.0%	31.49	No
7	25	0.182	8.0%	28.86	No
8	28	0.181	8.0%	30.47	No
9	100	0.161	8.0%	55.30	Sí
10	30	0.180	8.0%	31.49	No
11	30	0.180	8.0%	31.49	No
12	57	0.170	8.0%	42.58	Sí
13	35	0.178	8.0%	33.88	No
14	40	0.176	8.0%	36.08	No
15	33	0.179	8.0%	32.95	No
16	60	0.169	8.0%	43.61	Sí
17	29	0.180	8.0%	30.99	No
18	19	0.186	8.0%	25.27	No
19	30	0.180	8.0%	31.49	No
20	60	0.169	8.0%	43.61	Sí
21	80	0.164	8.0%	49.82	Sí
22	60	0.169	8.0%	43.61	Sí
23	90	0.162	8.0%	52.65	Sí
24	100	0.161	8.0%	55.30	Sí
25	45	0.174	8.0%	38.12	No
26	125	0.156	8.0%	61.25	Sí
27	268	0.138	7.3%	84.73	Sí
				PROMEDIO	40.51
				PROMEDIO	53.99

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Tabla 4
Velocidades calculadas para estabilidad de las curvas horizontales del tramo de 60 kph

# Curva	R (m)	f'	i (%)	V Esp (kph)	Cumple
28	185	0.147	7.9%	72.91	Sí
29	134	0.155	8.0%	63.24	Sí
30	160	0.151	8.0%	68.49	Sí
31	130	0.155	8.0%	62.38	Sí
32	80	0.164	8.0%	49.82	No
33	80	0.164	8.0%	49.82	No
34	80	0.164	8.0%	49.82	No
35	60	0.169	8.0%	43.61	No
36	60	0.169	8.0%	43.61	No
37	25	0.182	8.0%	29.11	No
38	80	0.164	8.0%	49.82	No
39	60	0.169	8.0%	43.61	No
40	60	0.169	8.0%	43.61	No
41	110	0.159	8.0%	57.79	No
42	1000	0.097	4.7%	135.42	Sí
43	85	0.163	8.0%	51.26	No
44	400	0.127	6.6%	99.02	Sí
45	500	0.120	6.1%	107.51	Sí
46	500	0.120	6.1%	107.51	Sí
47	500	0.120	6.1%	107.51	Sí
				PROMEDIO	66.79
				PROMEDIO	82.27

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Donde:
R: radio
f': fricción transversal
i: peralte
V: velocidad específica calculada

Para determinar la pendiente relativa en cada una de las curvas se utilizó la tabla 5 que muestra las pendientes máximas permitidas.

Tabla 5
Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

V ESP (kph)	PENDIENTE RELATIVA "m"	
	Máxima (%)	Mínima (%)
20	1.35%	0.10 Carril
30	1.28%	
40	0.96%	
50	0.77%	
60	0.60%	
70	0.55%	
80	0.50%	
90	0.47%	
100	0.44%	
110	0.41%	
120	0.38%	
130	0.38%	

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del MOPT, 2008.

Tabla 6
Pendiente relativa de las curvas horizontales del tramo de 40 kph

Curva	V ESP (kph)	m
1	40.03	0.96%
2	43.61	0.89%
3	30.47	1.26%
4	30.47	1.26%
5	36.08	1.09%
6	31.49	1.23%
7	28.86	1.29%
8	30.47	1.26%
9	55.30	0.68%
10	31.49	1.23%
11	31.49	1.23%
12	42.58	0.91%
13	33.88	1.16%
14	36.08	1.09%
15	32.95	1.19%
16	43.61	0.89%
17	30.99	1.25%
25.27	1.33%	25.27
19	31.49	1.23%
20	43.61	0.89%
21	49.82	0.77%
22	43.61	0.89%
23	52.65	0.72%
24	55.30	0.68%
25	38.12	1.02%
26	61.25	0.59%
27	84.73	0.49%

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Donde:

V Esp: velocidad específica de la curva
m: pendiente relativa

Tabla 7
Pendiente relativa de las curvas horizontales del tramo de 60 kph

Curva	V ESP (kph)	m
28	72.91	0.54%
29	63.24	0.58%
30	68.49	0.56%
31	62.38	0.59%
32	49.82	0.77%
33	49.82	0.77%
34	49.82	0.77%
35	43.61	0.89%
36	43.61	0.89%
37	49.82	0.77%
38	49.82	0.77%
39	43.61	0.89%
40	43.61	0.89%
41	57.79	0.64%
42	135.42	0.38%
43	51.26	0.75%
44	99.02	0.44%
45	107.51	0.42%
46	107.51	0.42%
47	107.51	0.42%

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Donde:

V Esp: velocidad específica de la curva

m: pendiente relativa

Una vez que se tienen la pendiente y las velocidades específicas para cada una de las curvas, se procede a calcular los parámetros utilizando un bombeo de 2% y un ancho de carril de 3.3 m.

Tabla 8

Parámetros de las curvas horizontales del tramo de 40 kph

Curva No.	Parámetros Tramo 40 kph											
	Δ lo D	R (m)	T (m)	E (m)	Lc (m)	CL (m)	C (m)	Gc (°)	M (m)	Lt (m)	Recta 65% (m)	N (m)
1	2° 50' 54"	50	1.24	0.02	2.49	2.49	10	11° 28' 42"	0.02	27.51	17.88	6.88
2	41° 46' 35"	60	22.90	4.22	43.75	42.79	20	19° 11' 17"	3.77	29.62	19.25	7.40
3	11° 58' 59"	28	2.94	0.15	5.86	5.85	10	20° 34' 23"	0.15	20.87	13.57	5.22
4	43° 9' 49"	28	11.08	2.11	21.09	20.60	10	20° 34' 23"	1.87	20.87	13.57	5.22
5	10° 37' 8"	40	3.72	0.17	7.41	7.40	10	14° 21' 41"	0.17	24.32	15.81	6.08
6	63° 17' 18"	30	18.49	5.24	33.14	31.48	10	19° 11' 17"	4.03	21.42	13.93	5.36
7	133° 4' 46"	25	57.61	37.80	58.07	45.87	10	23° 4' 26"	9.80	20.05	13.03	5.01
8	70° 43' 38"	28	19.87	6.33	34.56	32.41	10	20° 34' 23"	4.56	20.87	13.57	5.22
9	30° 45' 41"	100	27.51	3.71	53.69	53.05	20	11° 28' 42"	3.50	38.83	25.24	9.71
10	44° 29' 43"	30	12.27	2.41	23.30	22.72	10	19° 11' 17"	2.12	21.42	13.93	5.36
11	80° 12' 8"	30	25.26	9.22	41.99	38.65	10	19° 11' 17"	6.01	21.42	13.93	5.36
12	157° 12' 52"	57	282.87	231.56	156.40	111.75	20	20° 12' 30"	25.26	28.98	18.84	7.24
13	65° 12' 19"	35	22.39	6.55	39.83	37.72	10	16° 25' 35"	4.96	22.84	14.85	5.71
14	60° 47' 27"	40	23.46	6.37	42.44	40.48	10	14° 21' 41"	5.01	24.32	15.81	6.08
15	134° 44' 1"	33	79.15	52.75	77.60	60.92	10	17° 25' 46"	13.09	22.27	14.47	5.57
16	56° 1' 31"	60	31.92	7.96	58.67	56.36	20	19° 11' 17"	6.50	29.62	19.25	7.40
17	154° 49' 58"	29	129.91	104.11	78.37	56.61	10	19° 51' 23"	12.75	21.15	13.75	5.29
18	145° 59' 53"	19	62.14	45.98	48.41	36.34	10	30° 30' 54"	8.05	20.11	13.07	5.03
19	65° 33' 40"	30	19.32	5.68	34.33	32.49	10	19° 11' 17"	4.29	21.42	13.93	5.36
20	23° 43' 18"	60	12.60	1.31	24.84	24.66	20	19° 11' 17"	1.26	29.62	19.25	7.40
21	9° 56' 45"	80	6.96	0.30	13.89	13.87	20	14° 21' 41"	0.30	34.13	22.19	8.53
22	22° 31' 22"	60	11.95	1.18	23.59	23.43	20	19° 11' 17"	1.14	29.62	19.25	7.40
23	13° 38' 14"	90	10.76	0.64	21.42	21.37	20	12° 45' 31"	0.63	36.42	23.67	9.10
24	15° 6' 56"	100	13.27	0.88	26.38	26.31	20	11° 28' 42"	0.86	38.83	25.24	9.71
25	108° 31' 29"	45	62.54	32.05	85.24	73.05	10	12° 45' 31"	14.03	25.88	16.82	6.47
26	20° 47' 53"	124.9	22.92	2.09	45.34	45.09	20	9° 11' 4"	2.03	44.46	28.90	11.12
27	11° 50' 42"	268.1	27.81	1.44	55.43	55.33	20	4° 16' 31"	1.43	49.54	32.20	13.59

Fuente: Elaboración propia. Elaborado en Excel.

Donde:

Δ : ángulo central de curva

E: externa

C: espaciamiento de curva

M: flecha, m: pendiente

R: radio

Lc: longitud de la curva

Gc: ángulo cuerda grado

Lt: longitud de transición

T: tangente

CL: cuerda larga

V: velocidad

N: longitud aplanamiento

Tabla 9

Parámetros de las curvas horizontales del tramo de 60 kph

Curva No.	Parámetros Tramo 60 kph											
	Δ I o D	R (m)	T (m)	E (m)	Lc (m)	CL (m)	C (m)	Gc (°)	M (m)	Lt (m)	Recta 65% (m)	N (m)
28	57° 46' 33"	185	102.07	26.29	186.55	178.75	30	9° 18' 5"	21.17	48.59	31.59	12.33
29	29° 5' 6"	134	34.76	4.44	68.02	67.29	30	12° 51' 16"	4.20	45.22	29.39	11.31
30	26° 29' 6"	160	37.65	4.37	73.96	73.30	30	10° 45' 32"	4.18	47.35	30.78	11.84
31	20° 9' 36"	130	23.11	2.04	45.74	45.51	30	13° 15' 6"	1.99	44.89	29.18	11.22
32	39° 40' 59"	80	28.87	5.05	55.41	54.31	20	14° 21' 41"	4.56	34.13	22.19	8.53
33	36° 55' 60"	80	26.72	4.34	51.57	50.68	20	14° 21' 41"	3.98	34.13	22.19	8.53
34	28° 21' 12"	80	20.21	2.51	39.59	39.19	20	14° 21' 41"	2.39	34.13	22.19	8.53
35	19° 24' 20"	60	10.26	0.87	20.32	20.22	20	19° 11' 17"	0.85	29.62	19.25	7.40
36	67° 43' 54"	60	40.27	12.26	70.93	66.87	20	19° 11' 17"	9.08	29.62	19.25	7.40
37	96° 45' 55"	80	90.05	40.45	135.11	119.62	20	14° 21' 41"	21.33	34.13	22.19	8.53
38	18° 27' 59"	80	13.00	1.05	25.78	25.67	20	14° 21' 41"	1.03	34.13	22.19	8.53
39	15° 18' 56"	60	8.07	0.54	16.04	15.99	20	19° 11' 17"	0.53	29.62	19.25	7.40
40	66° 4' 1"	60	39.01	11.57	69.19	65.42	20	19° 11' 17"	8.70	29.62	19.25	7.40
41	71° 52' 40"	110	79.74	25.86	138.00	129.12	20	10° 25' 55"	18.41	41.40	26.91	10.35
42	0° 18' 1"	1000	2.62	0.00	5.24	5.24	40	2° 17' 31"	0.00	46.85	30.45	19.78
43	95° 58' 10"	85	94.35	41.99	142.37	126.30	20	13° 30' 46"	22.40	35.27	22.92	8.82
44	7° 50' 20"	400	27.41	0.94	54.73	54.68	30	4° 17' 53"	0.93	48.99	31.84	14.90
45	9° 16' 2"	500	40.52	1.64	80.87	80.78	40	4° 35' 6"	1.63	48.58	31.58	15.81
46	14° 35' 49"	500	64.04	4.08	127.38	127.04	40	4° 35' 6"	4.03	48.58	31.58	15.81
47	17° 31' 6"	500	77.04	5.90	152.88	152.28	40	4° 35' 6"	5.79	48.58	31.58	15.81

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en Excel.

Donde:

Δ : ángulo central total de la curva

R: radio

T: tangente

E: Externa

Lc: longitud de la curva

CL: cuerda larga

C: espaciamiento para estacionar curva

Gc: Ángulo cuerda grado

V: Velocidad

M: flecha

m: pendiente relativa

Lt: Longitud de transición

N: Longitud aplanamiento

Tabla 10

Estacionamientos de las curvas horizontales del tramo de 40 kph

Curva No.	PC	PI	PT
1	0+011.29	0+012.53	0+013.77
2	0+084.92	0+107.82	0+128.67
3	0+152.35	0+155.29	0+158.21
4	0+216.70	0+227.78	0+237.80
5	0+282.25	0+285.97	0+289.67
6	0+356.52	0+375.01	0+389.66
7	0+425.49	0+483.10	0+483.56
8	0+484.27	0+504.14	0+518.83
9	0+577.62	0+605.13	0+631.31
10	0+684.49	0+696.76	0+707.79
11	0+736.86	0+762.12	0+778.85
12	0+813.53	1+096.40	0+969.93
13	1+000.85	1+023.24	1+040.69
14	1+054.82	1+078.28	1+097.26
15	1+120.62	1+199.77	1+198.22
16	1+263.05	1+294.97	1+321.72
17	1+374.06	1+503.97	1+452.43
18	1+478.72	1+531.05	1+519.49
19	1+544.40	1+563.72	1+578.73
20	1+604.21	1+616.81	1+629.05
21	1+662.08	1+669.04	1+675.97
22	1+719.33	1+731.28	1+742.92
23	1+776.50	1+787.26	1+797.92
24	1+821.16	1+834.43	1+847.54
25	1+984.77	2+047.31	2+070.01
26	2+070.02	2+092.94	2+115.36
27	2+196.97	2+224.78	2+252.39

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Tabla 11

Estacionamientos de las curvas horizontales del tramo de 60 kph

Curva No.	PC	PI	PT
28	2+252.41	2+354.48	2+438.96
29	2+438.96	2+473.72	2+506.98
30	2+522.04	2+559.69	2+596.00
31	2+612.42	2+635.53	2+658.16
32	2+826.55	2+855.42	2+881.96
33	2+998.18	3+024.90	3+049.75
34	3+088.87	3+109.08	3+128.46
35	3+184.62	3+194.88	3+204.94
36	3+363.07	3+403.34	3+434.00
37	3+450.59	3+540.64	3+585.70
38	3+651.26	3+664.26	3+677.04
39	3+851.01	3+859.08	3+867.05
40	3+962.28	4+001.29	4+031.46
41	4+067.37	4+147.11	4+205.36
42	4+567.57	4+570.19	4+572.81
43	4+698.87	4+793.22	4+841.24
44	4+935.59	4+963.00	4+990.32
45	5+194.42	5+234.94	5+275.29
46	5+358.98	5+423.02	5+486.36
47	5+603.81	5+680.85	5+756.69

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Donde:

PC: punto de comienzo

PI: punto intermedio

PT: punto de término

Para dibujar los diagramas de superelevación se obtuvieron los estacionamientos en cada uno de los puntos de cambio del peralte (A, B, C, D, E), tal y como se muestra en la figura 12 para la Curva 1, utilizando las dimensiones previamente calculadas en las tablas 8 y 9 para longitud de transición (Lt), longitud de aplanamiento (N) y un 65% de la

longitud de transición en la distancia entre B y D, donde D es el punto que coincide con el punto de comienzo o el punto de término según la estación que corresponda.

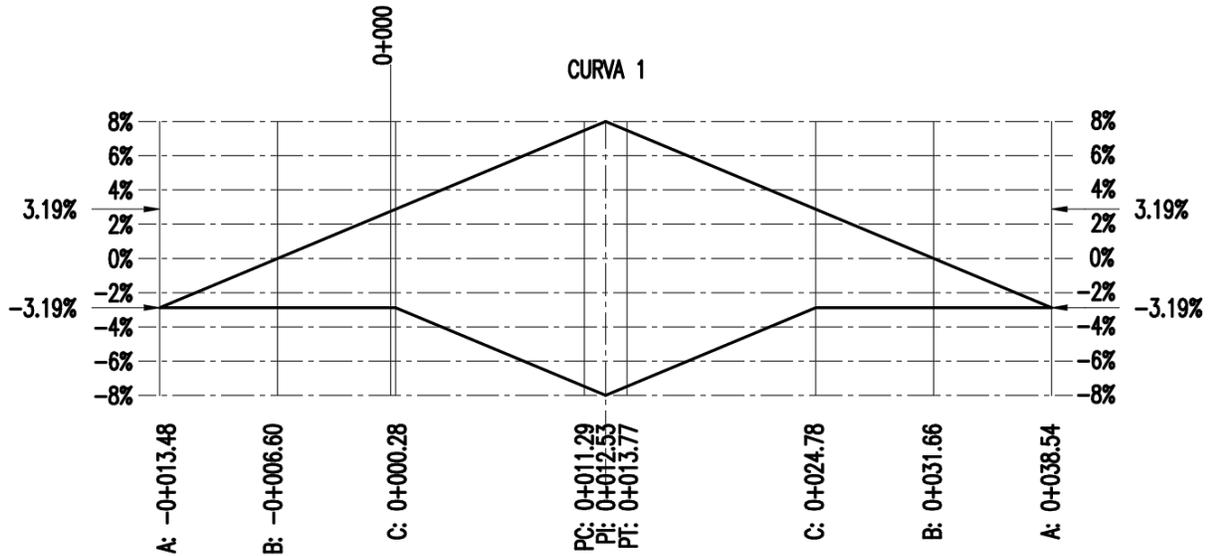


Figura 12. Diagrama de superelevación para la curva 1.

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en AutoCAD.

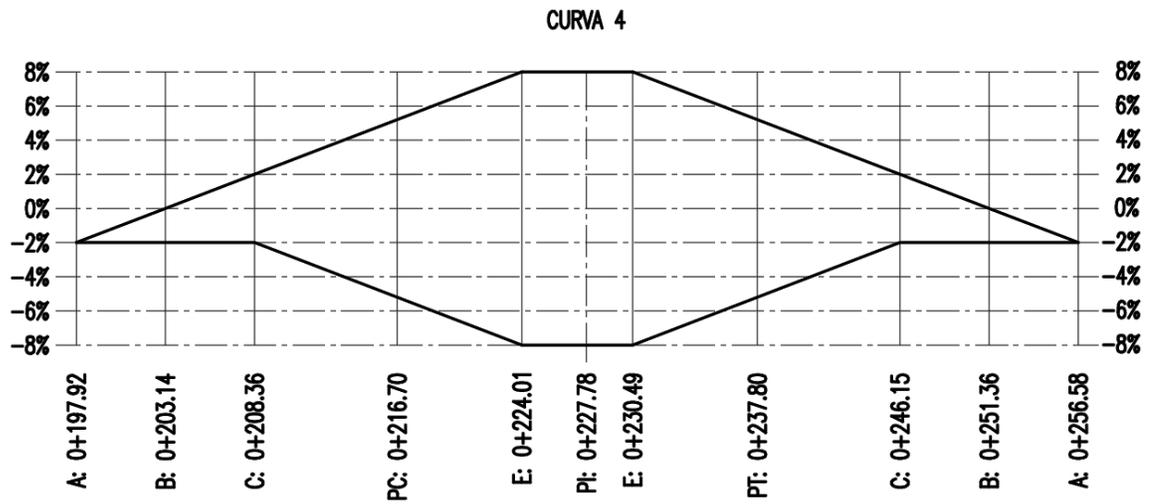


Figura 13. Diagrama de superelevación para la curva 4.
 Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en AutoCAD.

Los diagramas de superelevación para las demás curvas se pueden observar en los anexos.

Por otra parte, se trazó el alineamiento vertical y se calculó el parámetro de las curvas verticales (K), respetando el mínimo que se muestra en la tabla 13; los resultados se detallan a continuación.

Tabla 12
Estacionamientos de curvas verticales

CURVA	PCV	PIV	PTV
Tramo 1			
1	0+075	0+110	0+145
2	0+145	0+180	0+215
3	0+340	0+390	0+440
4	0+460	0+510	0+560
5	0+630	0+680	0+730
6	0+860	0+910	0+960
7	1+120	1+190	1+260
8	1+320	1+390	1+460
9	1+480	1+540	1+600
10	1+660	1+710	1+760
11	1+778	1+820	1+863
12	1+930	1+970	2+010
13	2+055	2+095	2+135
14	2+150	2+190	2+230
Tramo 2			
15	2+260	2+310	2+360
16	2+395	2+440	2+485
17	2+580	2+640	2+700
18	2+720	2+780	2+840
19	2+890	2+950	3+010
20	3+030	3+075	3+120
21	3+145	3+190	3+235
22	3+270	3+340	3+410
23	3+440	3+510	3+580
24	3+610	3+650	3+690
25	4+110	4+190	4+270
26	4+490	4+580	4+670
27	4+730	4+820	4+910
28	4+950	5+020	5+090
29	5+370	5+460	5+550
30	5+590	5+710	5+830

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel y calculado con CIVIL3D.

Donde:
PCV: punto de comienzo vertical
PIV: punto intermedio vertical
PTV: punto de término vertical

Tabla 13
Valores mínimos de parámetro de curvas verticales

V (km/h)	Valor mínimo de K	
	CONVEXA	CÓNCAVA
10	50	100
20	100	200
30	200	400
40	400	800
50	900	1200
65	2400	2100
70	3233	2533
80	4900	3400
95	9500	4900
110	16500	6700
120	17800	7500
140	19100	8400

Fuente: Dobles, 2013.

Tabla 14

Datos de alineamiento vertical

CURVA	g1	g2	L (m)	TIPO
Tramo 1: 40 kph				
1	-8.69%	-1.90%	70	CNC
2	-1.90%	-6.70%	70	CVX
3	-6.70%	-9.68%	100	CVX
4	-9.68%	-0.78%	100	CNC
5	-0.78%	-7.10%	100	CVX
6	-7.10%	-9.74%	100	CVX
7	-9.74%	-6.68%	140	CNC
8	-6.68%	-15.90%	140	CVX
9	-15.90%	-10.37%	120	CNC
10	-10.37%	-2.60%	100	CNC
11	-2.60%	-0.19%	85	CNC
12	-0.19%	0.03%	80	CNC
13	0.03%	8.98%	80	CNC
14	8.98%	4.13%	80	CVX
Tramo 2: 60 kph				
15	4.13%	4.22%	100	CNC
16	4.22%	9.88%	90	CNC
17	9.88%	10.82%	120	CNC
18	10.82%	7.81%	120	CVX
19	7.81%	9.96%	120	CNC
20	9.96%	4.29%	90	CVX
21	4.29%	7.60%	90	CNC
22	7.60%	6.12%	140	CVX
23	6.12%	10.75%	140	CNC
24	10.75%	6.81%	80	CVX
25	6.81%	2.67%	160	CVX
26	2.67%	-2.19%	180	CVX
27	-2.19%	-0.54%	180	CNC
28	-0.54%	1.50%	140	CNC
29	1.50%	-0.07%	180	CVX
30	-0.07%	3.77%	240	CNC

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en Excel.

Datos obtenidos del perfil generado en CIVIL3D.

Donde:

CNC: Cóncava

CVX: Convexa

$$K = \frac{L}{|g_2 - g_1|} \quad (14)$$

Tabla 15

Verificación del parámetro de las curvas verticales del tramo de 40 kph

CURVA	kcalc	kmín	K cumple
Tramo 1: 40 kph			
1	1031	800	Sí
2	1458	400	Sí
3	3356	400	Sí
4	1124	800	Sí
5	1582	400	Sí
6	3788	400	Sí
7	4575	800	Sí
8	1518	400	Sí
9	2170	800	Sí
10	1287	800	Sí
11	3527	800	Sí
12	36364	800	Sí
13	894	800	Sí
14	1649	400	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en Excel.

Tabla 16
 Verificación del parámetro de las curvas
 verticales del tramo de 60 kph

CURVA	kcalc	kmin	K cumple
Tramo 2: 60 kph			
15	111111	1800	Sí
16	1590	1800	No
17	12766	1800	Sí
18	3987	1900	Sí
19	5581	1800	Sí
20	1587	1900	No
21	2719	1800	Sí
22	9459	1900	Sí
23	3024	1800	Sí
24	2030	1900	Sí
25	3865	1900	Sí
26	3704	1900	Sí
27	10909	1800	Sí
28	6863	1800	Sí
29	11465	1900	Sí
30	6250	1800	Sí

Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en Excel.

En los casos en que no se cumplía con el K mínimo, la velocidad estimada sería menor a la de diseño, por lo que se utilizó el mínimo, se ponderaron las velocidades obtenidas de la tabla 13 a partir del K y se obtuvo una velocidad ponderada para el primer tramo de 40 kph y para el segundo tramos de 60 kph.

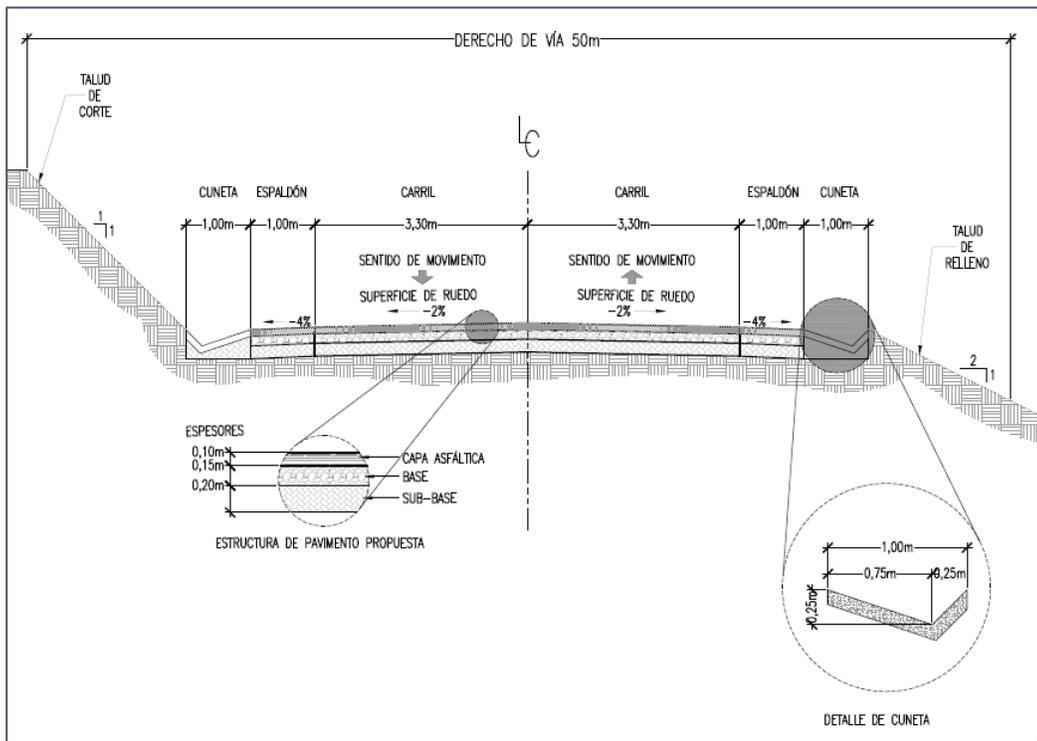


Figura 14. Sección típica 1.
 Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en AutoCAD.

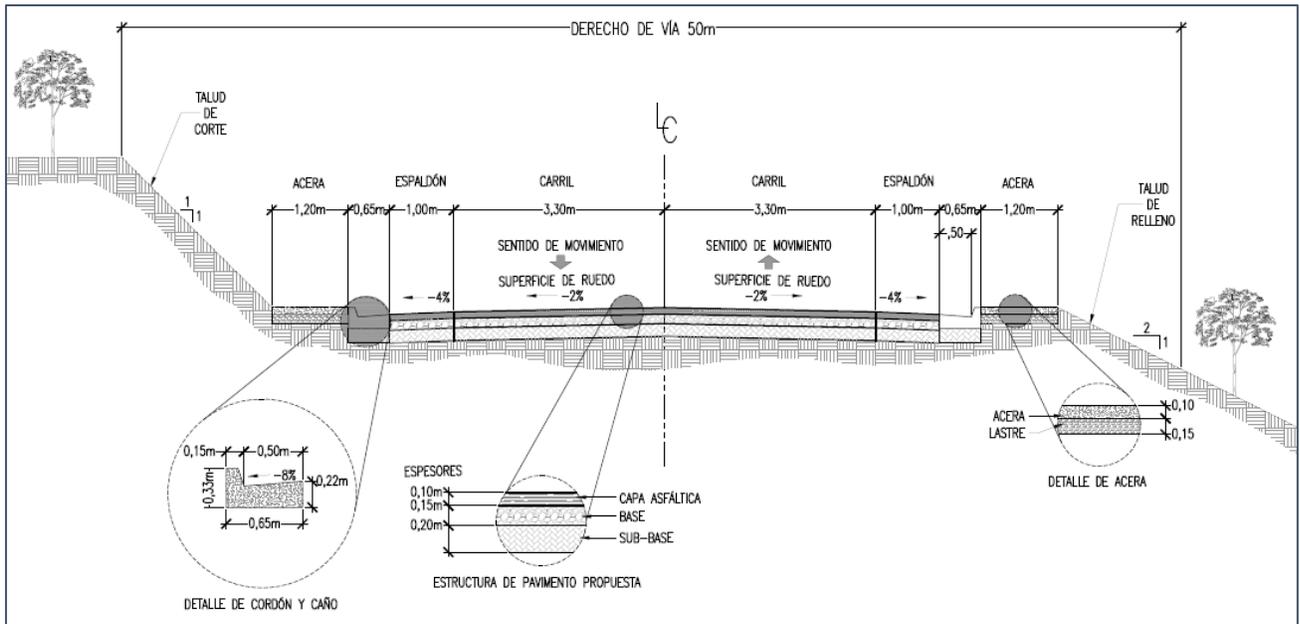


Figura 15. Sección típica 2.
 Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en AutoCAD.

Diseño de drenajes

Para el diseño de drenajes se realizó el trazado de las cuencas presentes en el lugar, tomando en cuenta las curvas de nivel y lo observado en la

visita al sitio; se generaron las cuencas que se observan en la figura 16. La numeración de las áreas se determinó según el sentido de flujo del agua hacia las alcantarillas.

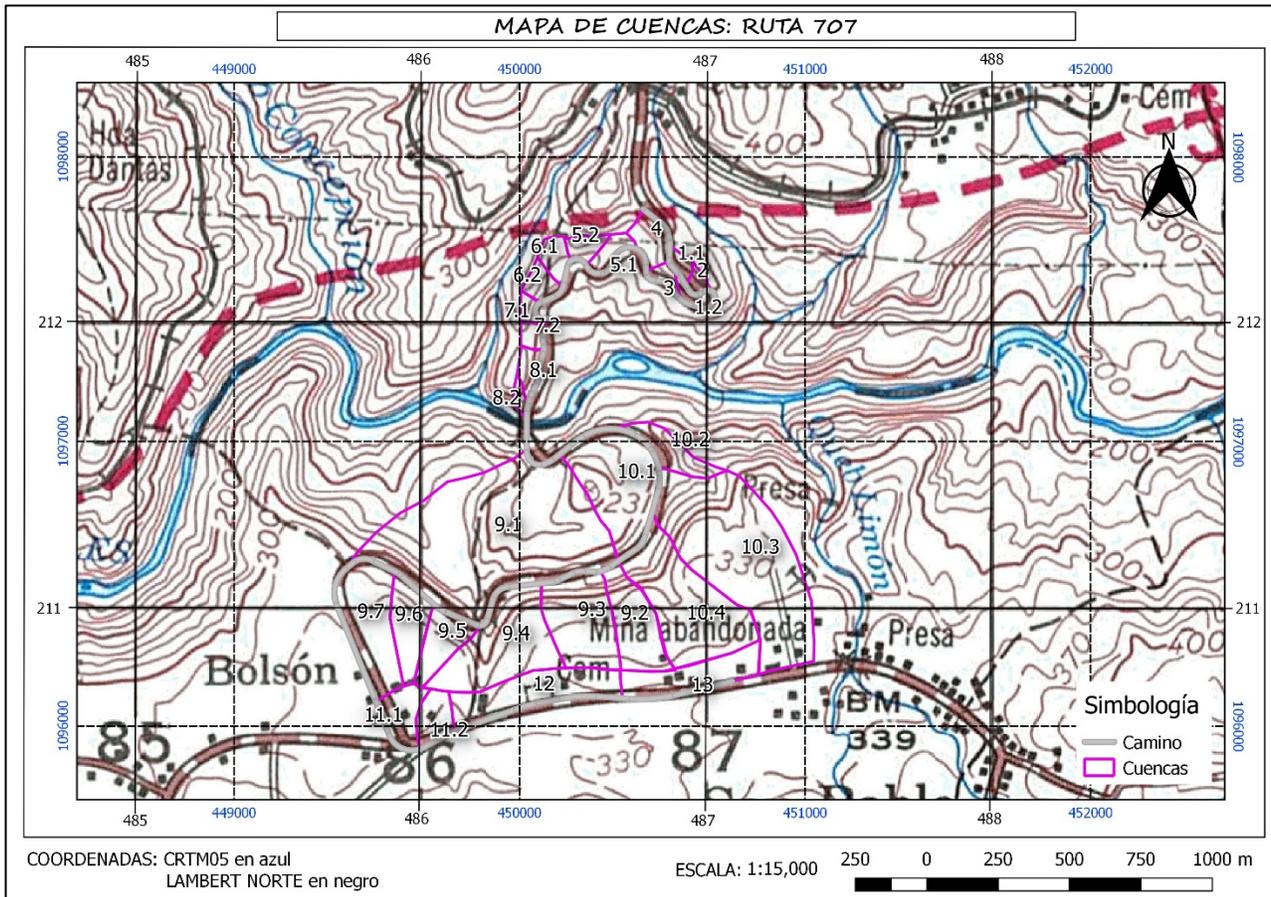


Figura 16. Mapa de cuencas presentes en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en QGIS.

Hoja Cartográfica Río Grande 1:50000

Se calculó el área de las subcuencas mediante la función “\$Área” de QGIS y se obtuvieron los resultados de la tabla 17:

Se calculó el coeficiente de escorrentía en cada una de las subcuencas trazadas haciendo uso del mapa de uso de suelos de la figura 17, basado en la imagen satelital de Google. Además, se utilizaron los coeficientes de escorrentía propuestos por Chow, Maidment & Mays (1988) en el Anexo 3.

Tabla 17
Áreas de las subcuencas

Cuenca	Área (m ²)
1.1	6065.66
1.2	6980.21
2	5085.86
3	6591.17
4	18965.37
5.1	11187.14
5.2	10194.77
6.1	12685.61
6.2	11666.16
7.1	6051.36
7.2	8153.23
8.1	11288.23
8.2	4200.10
9.1	307853.19
9.2	51468.38
9.3	73508.45
9.4	97575.41
9.5	30230.24
9.6	36155.48
9.7	73423.17
10.1	93983.05
10.2	26262.12
10.3	213967.45
10.4	117189.49
11.1	26116.80
11.2	20108.18
12	65197.14
13	47979.84

Fuente: Elaboración propia.
Calculado en QGIS.
Elaborado en Excel.

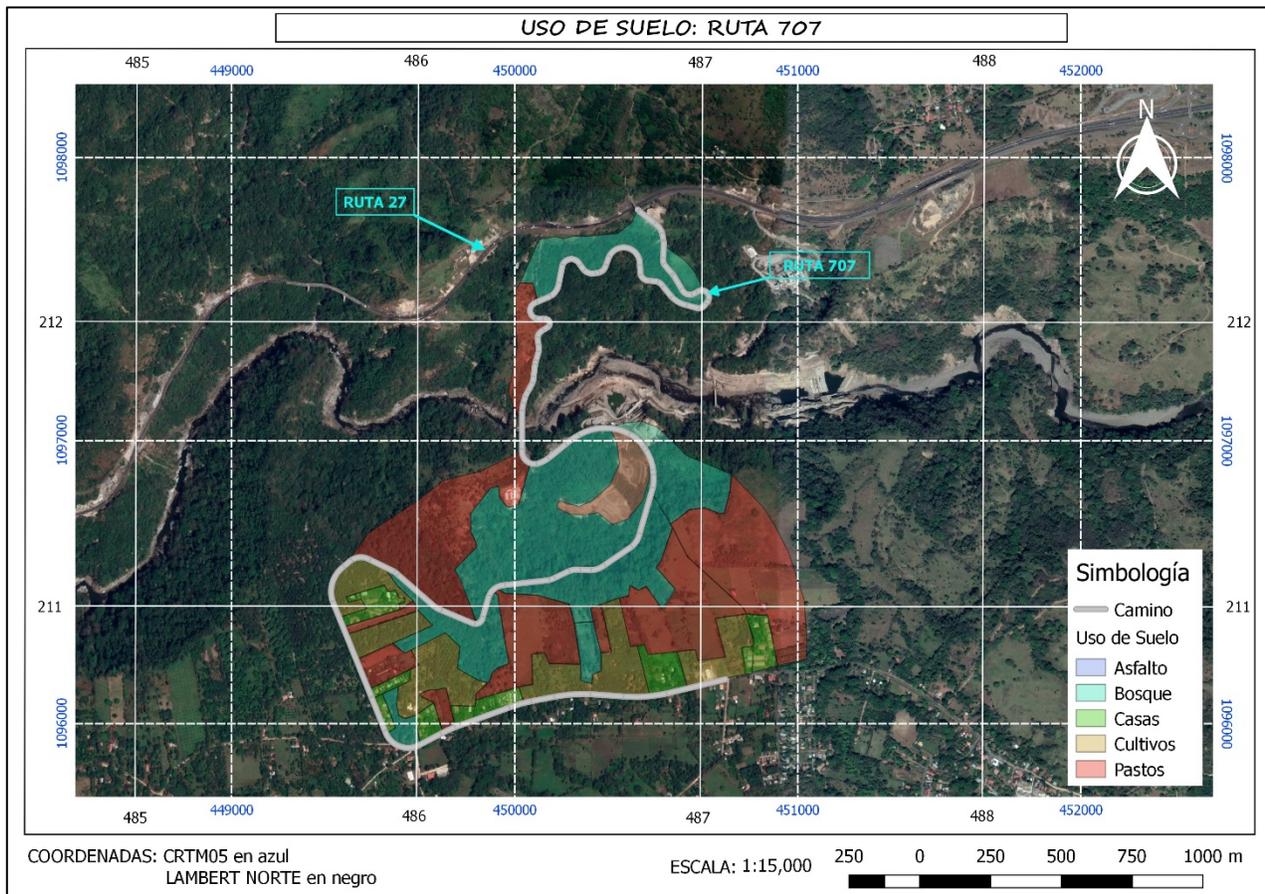


Figura 17. Mapa de Uso de Suelo de la Ruta N° 707.

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en QGIS.

Imagen Satelital Google.

A continuación, la tabla 18 muestra los coeficientes de escorrentía obtenidos:

Tabla 18

Coefficientes de escorrentía y áreas de uso de suelo

Cuenca	Casas		Bosques		Pastos		Cultivos		Total		C esc
	A1 (m ²)	C1	A3 (m ²)	C3	A4 (m ²)	C4	A5 (m ²)	C5	ΣCIAi	ΣAi	
1.1			6065.66						2729.55	6065.66	0.45
1.2			6980.21						3141.10	6980.21	0.45
2			5085.86						2288.64	5085.86	0.45
3			6591.17						2966.03	6591.17	0.45
4			18 965.37						8534.41	18 965.37	0.45
5.1			11 187.14						4978.28	11 187.14	0.45
5.2			10 194.77						4587.64	10 194.77	0.45
6.1			12 685.61						5708.52	12 685.61	0.45
6.2			8644.34		3021.81				5279.99	11 666.16	0.45
7.1					6051.36				2783.63	6051.36	0.46
7.2					8153.23				3750.48	8153.23	0.46
8.1					11 288.23				5192.59	11 288.23	0.46
8.2					4200.10				1932.05	4200.10	0.46
9.1		0.88	159 595.51	0.45	148 257.69	0.46		0.48	140 016.51	307 853.19	0.45
9.2	5401.57		11 419.04		18 152.85		16 494.92		26 159.82	51 468.38	0.51
9.3			35 327.75		36 697.35		1483.35		33 490.28	73 508.45	0.46
9.4			44 438.77		35 690.43		17 446.22		44 789.23	97 575.41	0.46
9.5			14 837.82		998.52		14 393.90		14 045.41	30 230.24	0.46
9.6	4821.88		9852.40		7774.33		13 706.88		18 832.32	36 155.48	0.52
9.7	20 047.41				16 846.55		36 529.21		42 925.16	73 423.17	0.58
10.1			55 771.14		38 211.91				42 674.49	93 983.05	0.45
10.2			26 262.12						11 817.95	26 262.12	0.45
10.3	14 508.01		54 784.70		144 674.74				103 970.54	213 967.45	0.49
10.4	2724.43		39 573.68		61 463.17		13 428.21		54 924.25	117 189.49	0.47
11.1	5189.97		12 512.33				8414.50		14 236.68	26 116.80	0.55
11.2	8726.82		1867.58		6825.97		9513.78		13 086.63	26 934.15	0.49
12	14 993.76		3096.79		15 609.12		31 497.46		36 887.05	65 197.14	0.57
13	15 406.59				1293.11		31 280.14		29 167.10	47 979.84	0.61

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

El tiempo de concentración se calculó mediante la ecuación (2) de Kirpich. Los resultados se muestran en la tabla 19:

Tabla 19
Tiempo de concentración

ZONA	L (m)	Elev mín (m)	Elev máx (m)	t_c (min)	t_c mín (min)
1.1	52.02	280.00	300.00	0.59	10.00
1.2	128.38	280.00	290.00	2.19	10.00
2	74.32	290.00	300.00	1.16	10.00
3	164.93	240.00	270.00	1.92	10.00
4	149.82	260.00	280.00	2.00	10.00
5.1	174.93	240.00	270.00	2.05	10.00
5.2	141.57	230.00	260.00	1.61	10.00
6.1	137.84	220.00	260.00	1.39	10.00
6.2	137.57	220.00	260.00	1.39	10.00
7.1	120.23	200.00	260.00	1.02	10.00
7.2	126.52	200.00	230.00	1.41	10.00
8.1	193.14	200.00	220.00	2.69	10.00
8.2	123.39	180.00	220.00	1.23	10.00
9.1	616.10	160.00	390.00	4.01	10.00
9.2	398.11	300.00	330.00	5.30	10.00
9.3	304.10	300.00	330.00	3.88	10.00
9.4	333.66	300.00	330.00	4.32	10.00
9.5	269.56	300.00	330.00	3.38	10.00
9.6	355.12	300.00	330.00	4.65	10.00
9.7	455.78	300.00	330.00	6.20	10.00
10.1	263.19	180.00	231.00	2.68	10.00
10.2	378.15	200.00	220.00	5.84	10.00
10.3	992.17	200.00	330.00	8.65	10.00
10.4	543.96	250.00	330.00	5.21	10.00
11.1	228.89	330.00	340.00	4.27	10.00
11.2	173.85	330.00	340.00	3.11	10.00
12	591.69	180.00	230.00	6.88	10.00
13	492.83	180.00	230.00	5.57	10.00

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Se definió la siguiente sección de cuneta, para la cual se revisó la longitud máxima que ella puede transportar el caudal que le tributa desde la carretera y de los taludes, igualando el caudal real obtenido por la ecuación de Manning, definido por la ecuación (16), y el caudal de la ecuación del Método Racional definido por la ecuación (1); dicha longitud se muestra en la tabla 21.

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (15)$$

Donde:

A: área hidráulica (m²) [ver anexo 7]

R: radio hidráulico (m) [ver anexo 7]

S: pendiente (m/m)

n: "n" de Manning. [ver anexo 8]

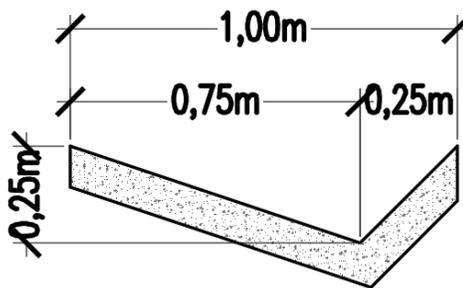


Figura 18. Sección transversal propuesta para la cuneta.

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en AutoCAD.

Tabla 20
Geometría de la cuneta

Cuneta	
Z	3
Y	0.25000 m
Ah	0.18750 m
Pm	1.58114 m
Rh	0.11859 m
T	1.50000 m

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Tabla 21
Longitud máxima que puede transportar el caudal
la cuneta

Cuenca	S prom	Q (m ³ /s)	L máx (m)
1.1	6.70%	0.9011	1781.524
1.2	4.06%	0.7014	1386.631
2	8.60%	1.0207	2017.956
3	4.80%	0.7629	1508.194
4	7.10%	0.9276	1833.933
5.1	9.74%	1.0865	2147.998
5.2	9.74%	1.0865	2147.998
6.1	7.29%	0.9401	1858.565
6.2	6.68%	0.8998	1778.863
7.1	14.36%	1.3194	2608.447
7.2	12.67%	1.2394	2450.270
8.1	6.49%	0.8865	1752.707
8.2	0.19%	0.1517	300.007
9.1	1.82%	0.4697	928.517
9.2	9.29%	1.0610	2097.579
9.3	5.81%	0.8389	1658.568
9.4	6.33%	0.8760	1731.830
9.5	10.75%	1.1414	2256.621
9.6	6.51%	0.8883	1756.082
9.7	4.37%	0.7278	1438.876
10.1	7.52%	0.9550	1887.994
10.2	7.42%	0.9482	1874.696
10.3	10.82%	1.1451	2263.956
10.4	8.49%	1.0146	2005.916
11.1	2.19%	0.5152	1018.536
11.2	0.54%	0.2558	505.768
12	1.50%	0.4264	842.946
13	2.58%	0.5588	1104.753

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

Donde:

S prom: pendiente promedio

Q: caudal calculado para la subcuenca

L máx: Longitud del cauce

La intensidad de la lluvia para el período de retorno de 25 años y el tiempo de concentración mínimo se determinaron mediante los datos de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia del IMN, los

cuales se pueden observar en el Anexo 9, o equivalentemente en la figura 19.

Intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno (mm/hr)							
Duración (min)	T 5	T 10	T 25	T 50	T 100	T 250	T 500
5	134,81	146,66	161,64	172,76	183,79	198,31	209,28
10	118,39	130,50	145,81	157,17	168,44	183,29	194,50
15	107,17	119,05	134,07	145,20	156,26	170,82	181,81
30	82,73	92,11	103,97	112,77	121,50	133,00	141,68

Figura 19. Estación 84-145 del IMN. Intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y período de retorno.

Fuente: Rojas, 2011

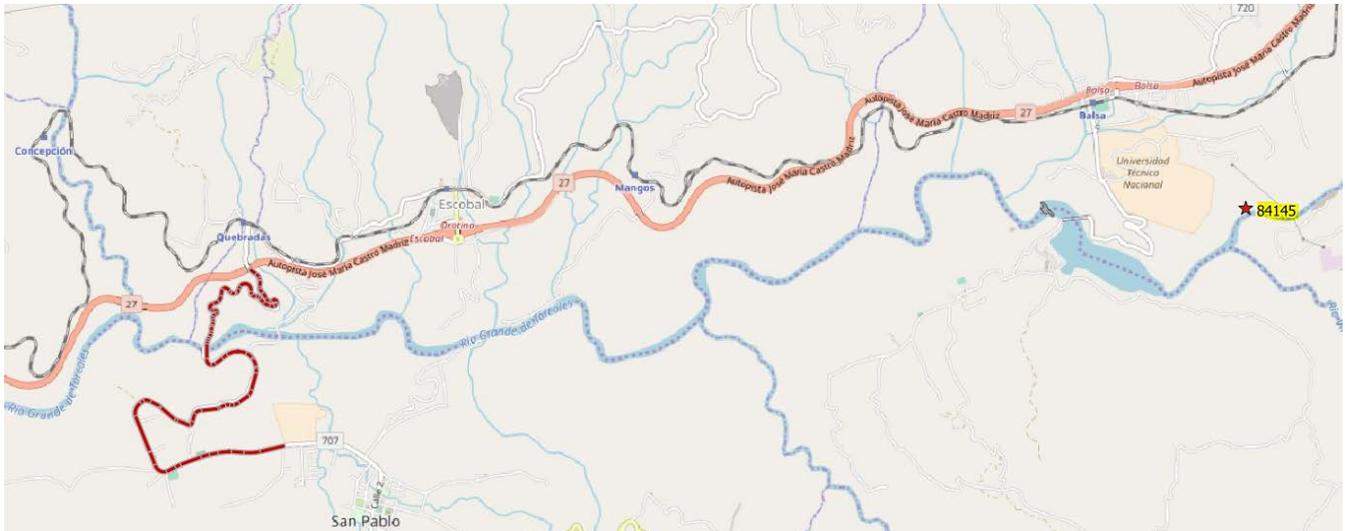


Figura 20. Ubicación de Estación Meteorológica más cercana al proyecto (#84145).

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en QGIS.

Mapa: Open Street Maps.

Capa de puntos: ATLASCR-2010.

Con ayuda de la ecuación (1) y de los valores calculados previamente de coeficientes de escorrentía, intensidad, entre otros, se procede a calcular el caudal real presente en las alcantarillas

para un período de retorno de 25 años. Se tomaron las alcantarillas existentes y las propuestas por la empresa previamente.

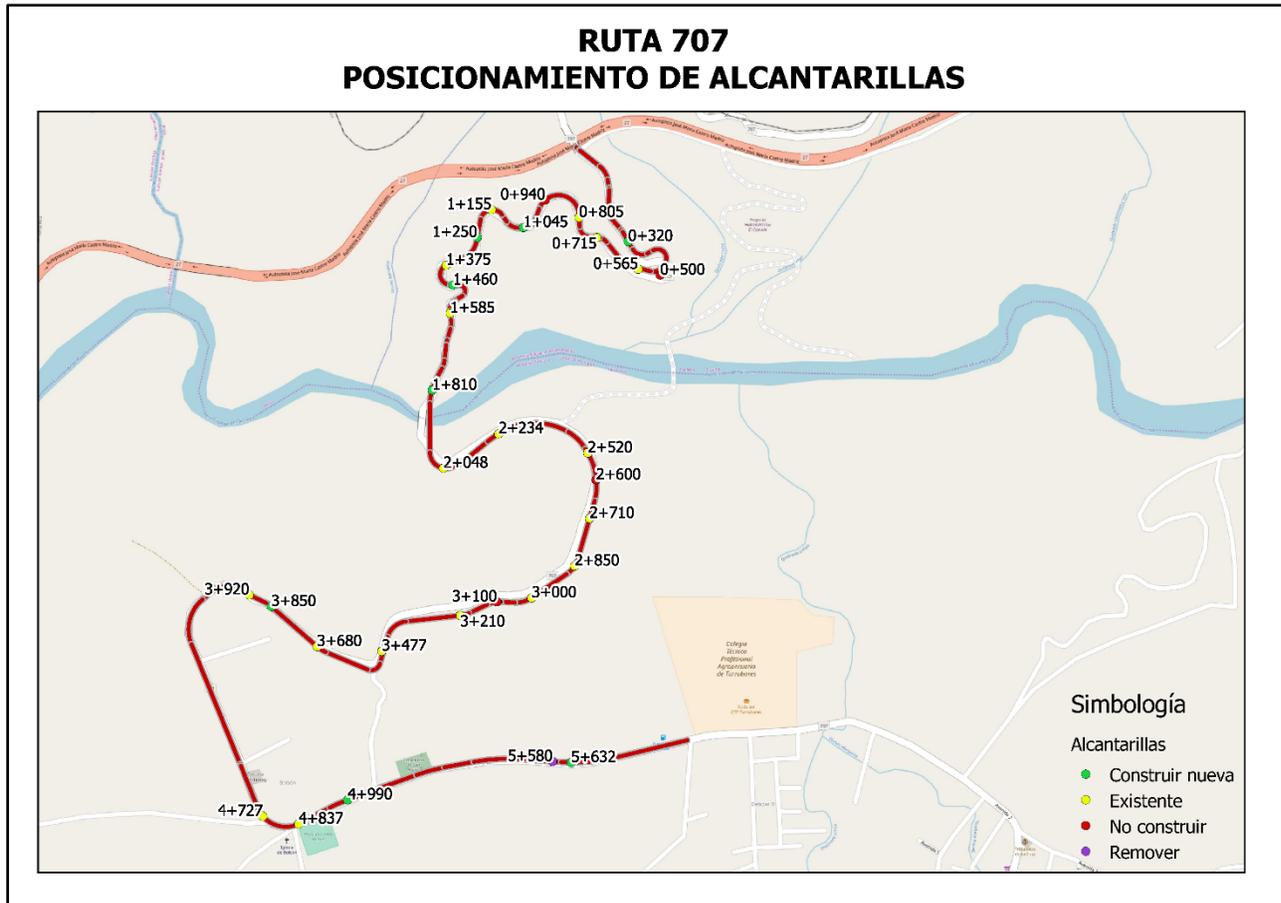


Figura 21. Ubicación de las alcantarillas estudiadas.

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en QGIS.

Mapa: Open Street Maps.

Tabla 22

Caudales calculados para las alcantarillas en diferentes estaciones

Zona	Estación	Dim existente (cm)	Estado	Área(km ²)	Ce	T (años)	t _c (min)	i (mm/h)	Q calc (m ³ /s)
1.1	0+320		Construir nueva	0.006066	0.45	25	10.00	145.81	0.11
1.2+2	0+500		No construir						
1.1+1.2	0+565	40	Existente	0.013046	0.45	25	10.00	145.81	0.24
3	0+715	60	Existente	0.006591	0.45	25	10.00	145.81	0.12
4	0+805	40	Existente	0.018965	0.45	25	10.00	145.81	0.35
5.1	0+940		No construir						
5.1	1+045		Construir nueva	0.011187	0.45	25	10.00	145.81	0.20
5.2	1+155	60	Existente	0.000000	0.45	25	10.00	145.81	0.00
6.1	1+250		Construir nueva	0.012686	0.45	25	10.00	145.81	0.23
6.2	1+375	50	Existente	0.000000	0.45	25	10.00	145.81	0.00
7.1	1+460		Construir nueva	0.006051	0.46	25	10.00	145.81	0.11
7.2	1+585	50	Existente	0.006051	0.46	25	10.00	145.81	0.11
8.1	1+810		Construir nueva	0.011288	0.46	25	10.00	145.81	0.21
Σ9	2+048	3.8x3.9	Existente	0.670214	0.48	25	10.00	145.81	12.97
Σ10	2+234	3.2x3.9	Existente	0.451402	0.45	25	10.00	145.81	8.29
10.2	2+520	70	Existente	0.026262	0.45	25	10.00	145.81	0.48
10.2	2+600		No construir						
10.3	2+710	70	Existente	0.213967	0.45	25	10.00	145.81	3.90
10.4	2+850	1.3x1.4	Existente	0.117189	0.45	25	10.00	145.81	2.14
9.2	3+000	60	Existente	0.051468	0.51	25	10.00	145.81	1.06
9.3	3+100		No construir						
9.3	3+210	60	Existente	0.073508	0.46	25	10.00	145.81	1.36
9.4	3+477	1.2x1.8	Existente	0.097575	0.46	25	10.00	145.81	1.81
9.5	3+680	60	Existente	0.030230	0.46	25	10.00	145.81	0.57
9.6	3+850		Construir nueva	0.036155	0.52	25	10.00	145.81	0.76
9.7	3+920	37	Existente	0.073423	0.58	25	10.00	145.81	1.74
11.1	4+727	90	Existente	0.026117	0.55	25	10.00	145.81	0.58
11.2	4+837	90	Existente	0.000000	0.55	25	10.00	145.81	0.00
12	4+990		Construir nueva	0.065197	0.57	25	10.00	145.81	1.49
13	5+580	80	Remover						
13	5+632		Construir nueva	0.047980	0.61	25	10.00	145.81	1.18

Fuente: Elaboración propia. Elaborado en Excel

Por medio de la tabla del anexo 10, se determinaron los diámetros adecuados para cada uno de los caudales de las alcantarillas de la tabla 22.

Tabla 23
Selección de diámetros para alcantarillas circulares

Cuenca	Est	Q calc (m ³ /s)	φ (cm) 94%	Q adm (m ³ /s)	φ usar (cm)
1.1	0+320	0.11	30	0.16	80
1.1+1.2	0+565	0.24	40	0.31	80
3	0+715	0.12	30	0.16	80
4	0+805	0.35	50	0.54	80
5.1	1+045	0.20	40	0.31	80
5.2	1+155	0.00	40	0.31	80
6.1	1+250	0.23	40	0.31	80
6.2	1+375	0.00	50	0.54	80
7.1	1+460	0.11	30	0.16	80
7.2	1+585	0.11	40	0.31	80
8.1	1+810	0.21	40	0.31	80
∑9	2+048	12.97	213	20.30	Cuadro
∑10	2+234	8.29	152	8.73	Cuadro
10.2	2+520	0.48	60	0.85	80
10.3	2+710	3.90	120	4.81	120
10.4	2+850	2.14	90	2.34	90
9.2	3+000	1.06	90	2.34	90
9.3	3+210	1.36	80	1.74	80
9.4	3+477	1.81	90	2.34	90
9.5	3+680	0.57	60	0.85	80
9.6	3+850	0.76	60	0.85	80
9.7	3+920	1.74	80	1.74	80
11.1	4+727	0.58	60	0.85	80
11.2	4+837	0.00	50	0.54	80
12	4+990	1.49	80	1.74	80
13	5+632	1.18	70	1.25	80

Fuente: Elaboración propia. Elaborado en Excel

Donde:

Cuenca: subcuenca que le tributa el agua

Est: estacionamiento de alcantarilla

Q calc: caudal calculado con Método Racional

Φ: diámetro de tubería escogido con anexo 10

Q adm: caudal admisible para un diámetro Φ con flujo supercrítico

Φ usar: diámetro de tubería escogido para el diseño

*En azul se muestran las alcantarillas de tubo existentes y en amarillos las alcantarillas existentes de cuadro.

Para las alcantarillas 2+048 y 2+234 se definió la dimensión de alcantarilla de cuadro y con ayuda del anexo 7 se calculó la geometría hidráulica y los caudales con la ecuación de Manning. Los resultados se muestran en la tabla 24, donde se puede verificar que el caudal admisible es mayor que el caudal calculado.

Tabla 24
Dimensiones de alcantarillas de cuadro

Estación	2+048	2+234
Qcalc (m ³ /s)	12.971	8.285
Dimensiones BxD (m)	2.44 3.05	1.40 1.80
% lleno	75%	75%
Área (m ²)	5.582	1.890
Perímetro mojado (m)	7.015	4.100
Radio hidráulico (m)	0.796	0.461
Espejo de agua (m)	2.440	1.400
Pendiente (m/m)	0.010	0.010
n	0.013	0.013
Q adm (m ³ /s)	36.866	8.676

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

A continuación, se presenta la revisión de las alcantarillas que presentan mayor caudal, según si tienen control a la entrada o a la salida; estas corresponden a las estaciones 2+048 y 2+234; en el caso de la segunda, se realizó la revisión de control para dos opciones: alcantarilla de tubo y

alcantarilla de cuadro, para poder elegir la mejor opción.

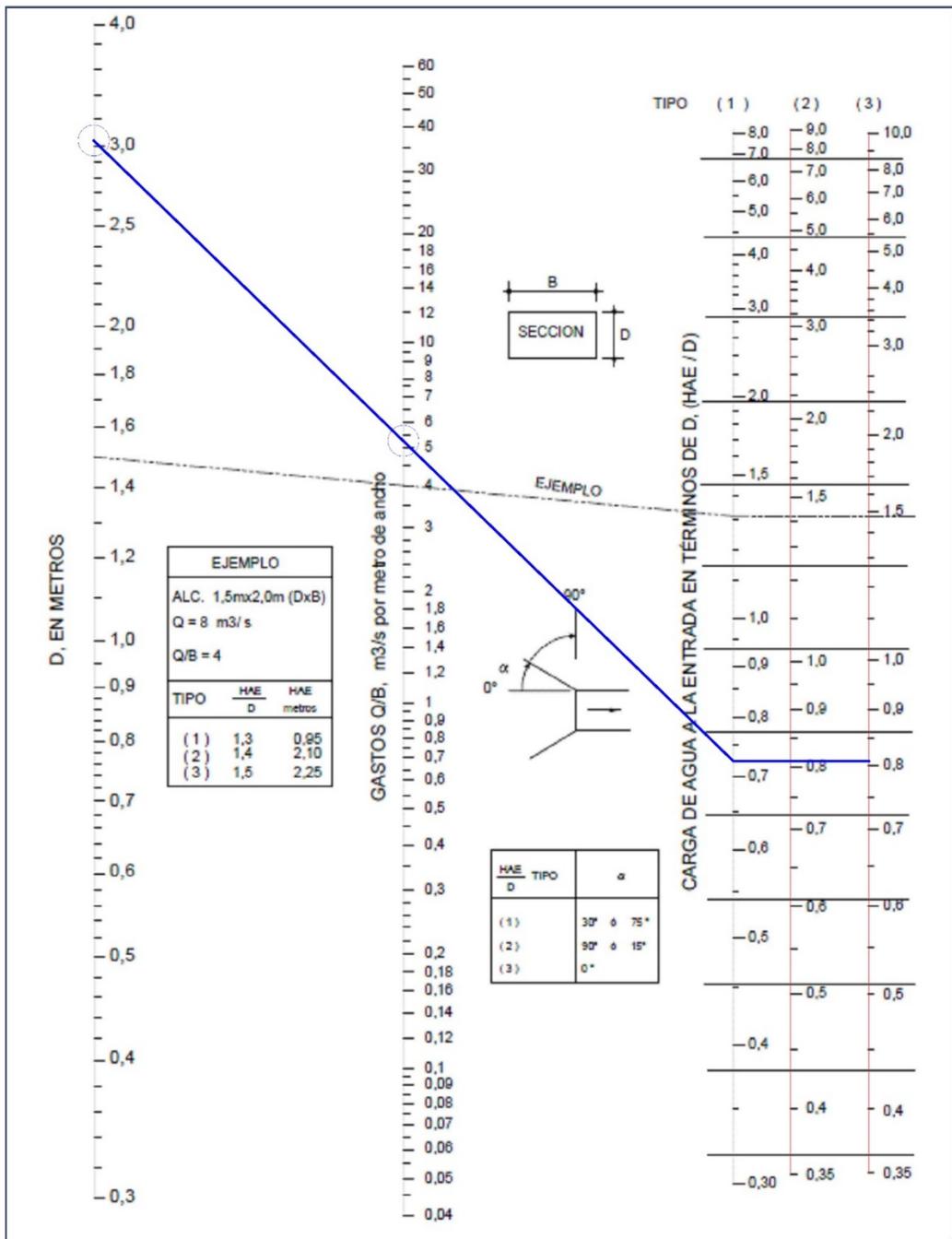


Figura 22. Control de alcantarilla de cuadro Est 2+048.
 Fuente: U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 1963.

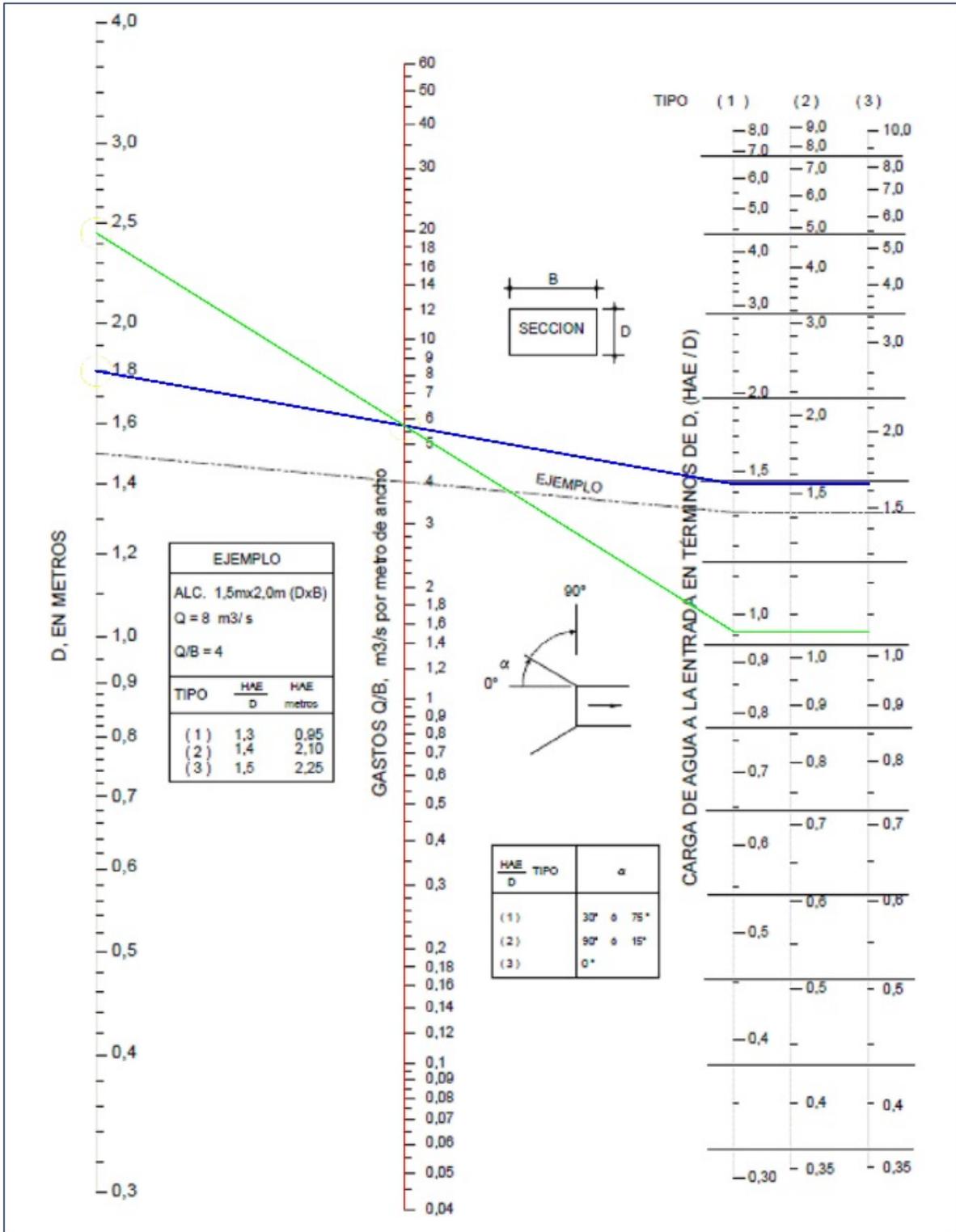


Figura 23. Control de alcantarilla de cuadro Est 2+234.
 Fuente U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 1963.

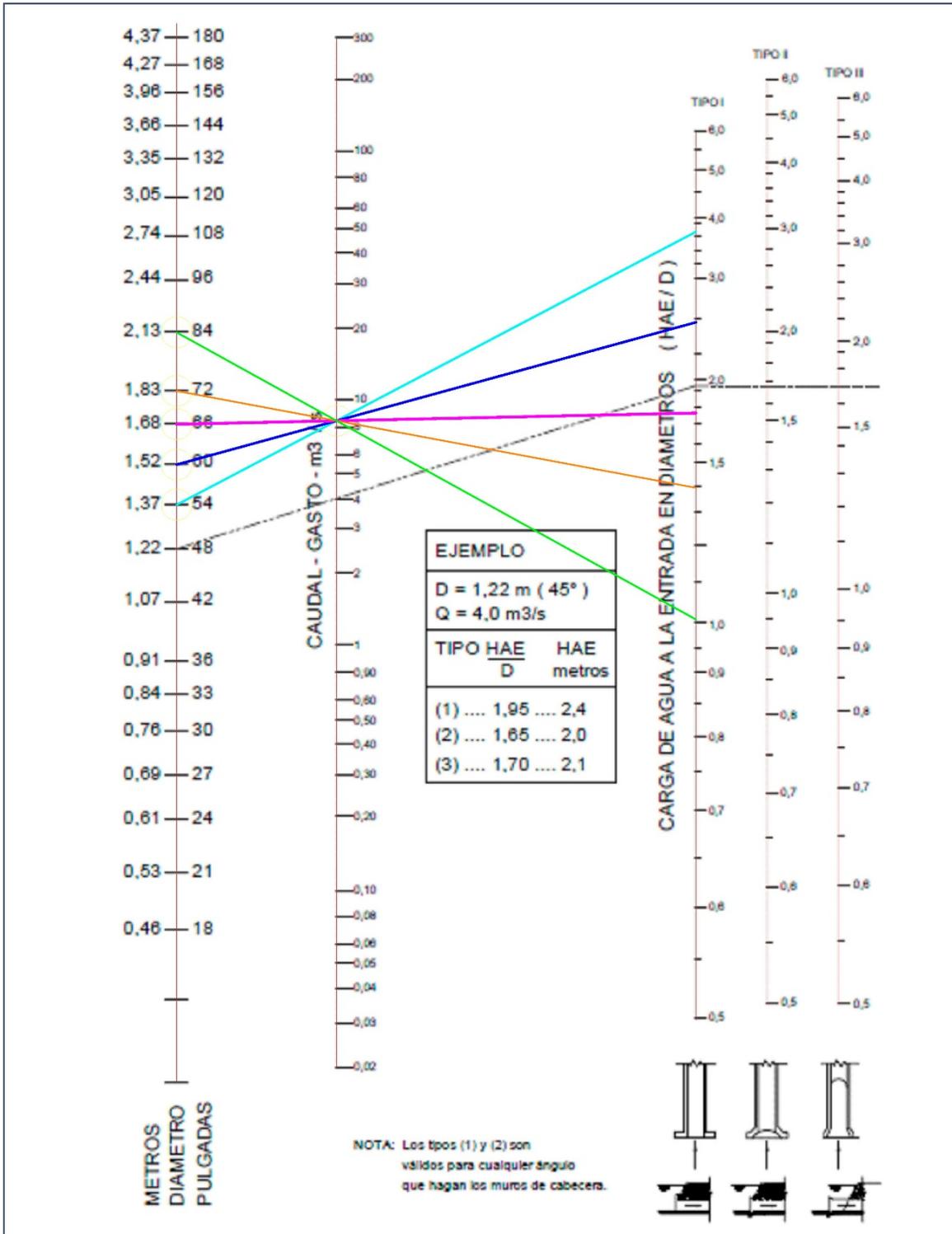


Figura 24. Control de alcantarilla de tubo Est 2+234.
Fuente: U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 1963.

Tabla 25
Tipos de cabezales a construir en cada
alcantarilla

Estación	Cabezal Tipo
0+320	CA-1 Ø76
0+565	CA-1 Ø76
0+715	CA-1 Ø76
0+805	CA-1 Ø76
1+045	CA-1 Ø76
1+155	CA-1 Ø76
1+250	CA-1 Ø76
1+375	CA-1 Ø76
1+460	CA-1 Ø76
1+585	CA-1 Ø76
1+810	CA-1 Ø76
2+048	Ver figura 25
2+234	Ver figura 26
2+520	CA-1 Ø76
2+710	CA-1 Ø122
2+850	CA-1 Ø91
3+000	CA-1 Ø91
3+210	CA-1 Ø76
3+477	CA-1 Ø91
3+680	CA-1 Ø76
3+850	CA-1 Ø76
3+920	CA-1 Ø76
4+727	CA-1 Ø76
4+837	CA-1 Ø76
4+990	CA-1 Ø76
5+632	CA-1 Ø76

Fuente: Elaboración propia.

*dimensiones del cabezal CA-1 = Anexo 13.

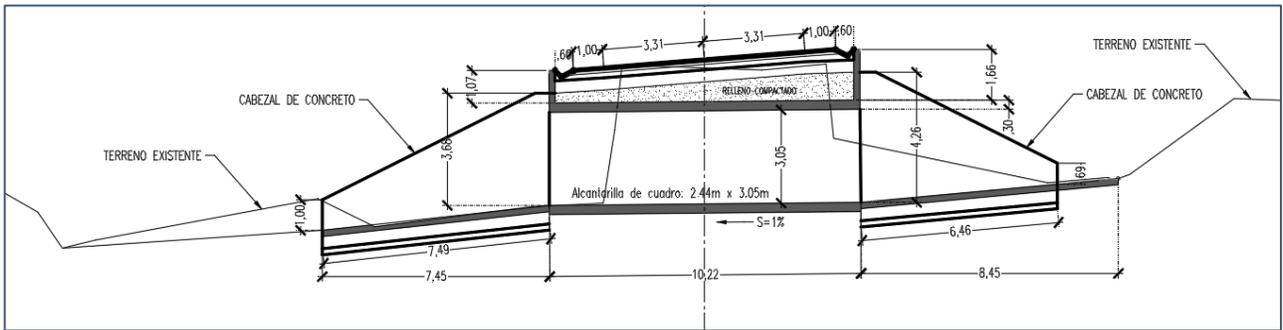


Figura 25. Sección transversal de alcantarilla de cuadro de la estación 2+048.
Fuente: Elaboración propia.

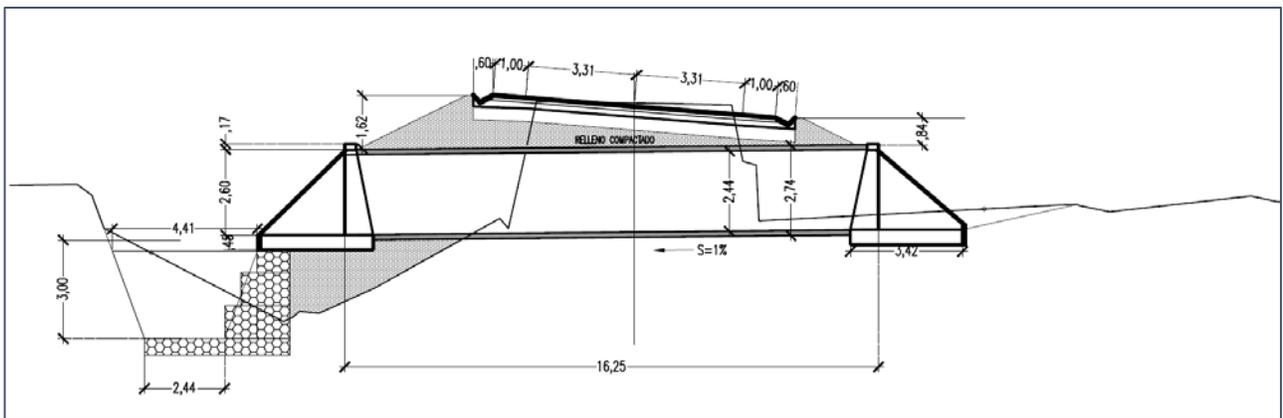


Figura 26. Sección transversal de alcantarilla de cuadro de la estación 2+234.
Fuente: Elaboración propia.

Movimiento de tierras

A continuación, se presenta la tabla con los volúmenes de corte y relleno correspondiente a cada estación.

Tabla 26
Volumen de corte y relleno a partir de secciones transversales a cada 20 m

Estacion	Vol. corte (m³)	Vol. relleno (m³)
0+020	72.80	0.00
0+040	862.40	6.60
0+060	1503.20	6.60
0+080	983.80	0.00
0+100	379.80	0.00
0+120	219.50	0.00
0+140	291.20	0.00
0+160	417.70	0.00
0+180	566.20	0.00
0+200	980.20	0.00
0+220	913.70	0.00
0+240	702.80	0.00
0+260	958.50	0.00
0+280	963.30	0.00
0+300	1073.10	0.00
0+320	1367.00	0.00
0+340	1344.50	0.00
0+360	1175.00	0.00
0+380	1346.90	0.00
0+400	1896.30	0.00
0+420	1897.30	0.00
0+440	1042.20	0.00
0+460	579.90	0.00
0+480	490.20	0.00
0+500	230.70	342.90
0+520	80.90	1262.90
0+540	61.00	966.60
0+560	47.40	177.10
0+580	43.80	131.50
0+600	183.40	1.00
0+620	435.70	0.00
0+640	634.20	0.00

0+660	640.80	0.00
0+680	585.00	0.00
0+700	585.10	0.00
0+720	491.90	0.00
0+740	627.10	0.00
0+760	1032.20	0.00
0+780	1130.60	0.00
0+800	843.00	0.00
0+820	976.40	0.00
0+840	1246.50	0.00
0+860	1124.30	0.00
0+880	1177.90	0.00
0+900	1230.70	0.00
0+920	1247.80	0.00
0+940	1095.00	0.00
0+960	935.60	0.00
0+980	973.90	0.00
1+000	1058.40	0.00
1+020	1347.70	0.00
1+040	1304.40	0.00
1+060	1065.10	0.00
1+080	1023.70	0.00
1+100	971.20	0.00
1+120	975.00	0.00
1+140	1114.80	0.00
1+160	1330.50	0.00
1+180	1516.90	0.00
1+200	1273.20	0.00
1+220	877.00	0.00
1+240	863.20	0.00
1+260	954.60	0.00
1+280	1065.50	0.00
1+300	1239.50	0.00
1+320	1623.70	0.00
1+340	1484.80	0.00
1+360	967.40	0.00
1+380	1247.70	0.00
1+400	1690.00	0.00
1+420	1566.00	0.00
1+440	1135.90	0.00
1+460	817.10	0.00

1+480	722.30	0.00
1+500	614.30	0.00
1+520	501.50	0.00
1+540	390.30	0.00
1+560	385.40	0.00
1+580	506.10	0.00
1+600	577.60	0.00
1+620	671.00	0.00
1+640	558.70	0.00
1+660	444.50	51.30
1+680	361.40	78.20
1+700	152.90	104.40
1+720	68.70	193.50
1+740	229.00	681.80
1+760	250.40	2311.40
1+780	104.80	1918.60
1+800	171.90	329.00
1+820	317.50	156.00
2+000	110.20	25.20
2+020	359.90	27.50
2+040	324.90	7.40
2+060	76.90	32.60
2+080	1.80	148.60
2+100	30.50	121.90
2+120	77.00	0.80
2+140	119.10	0.00
2+160	109.30	0.20
2+180	190.60	0.20
2+200	167.60	6.20
2+220	43.10	6.90
2+240	48.60	1.40
2+260	59.60	215.50
2+280	141.30	215.00
2+300	176.70	0.20
2+320	122.20	0.00
2+340	91.40	5.30
2+360	82.40	5.30
2+380	39.40	18.10
2+400	12.10	25.10
2+420	16.80	17.30
2+440	26.00	10.70

2+460	85.10	6.00
2+480	147.40	5.60
2+500	148.80	0.00
2+520	154.30	0.00
2+540	104.30	66.10
2+560	85.60	66.10
2+580	142.10	7.60
2+600	216.50	7.60
2+620	288.70	0.00
2+640	211.70	104.90
2+660	153.60	272.90
2+680	370.50	331.80
2+700	430.50	168.90
2+720	162.20	82.40
2+740	124.30	192.90
2+760	250.20	207.30
2+780	308.60	102.20
2+800	410.70	10.50
2+820	463.70	0.00
2+840	383.10	1.80
2+860	244.50	21.00
2+880	83.00	244.70
2+900	39.00	456.90
2+920	232.20	384.00
2+940	523.00	224.60
2+960	733.20	91.70
2+980	1012.50	19.70
3+000	1236.30	5.40
3+020	953.50	102.70
3+040	1400.20	97.30
3+060	1807.70	0.00
3+080	1903.20	0.00
3+100	1452.80	0.00
3+120	466.70	0.00
3+140	306.90	0.00
3+160	172.90	59.40
3+180	190.90	123.70
3+200	324.60	82.60
3+220	278.10	29.20
3+240	267.30	16.00
3+260	294.50	30.20

3+280	317.60	25.10
3+300	387.60	7.10
3+320	369.30	15.10
3+340	330.00	8.10
3+360	402.90	0.10
3+380	575.30	0.00
3+400	672.80	0.00
3+420	591.10	0.00
3+440	320.30	8.40
3+460	142.50	59.60
3+480	77.60	195.10
3+500	12.10	990.90
3+520	0.00	1711.00
3+540	291.80	864.00
3+560	988.10	0.00
3+580	1559.70	0.00
3+600	1716.00	0.00
3+620	1642.40	0.00
3+640	1440.00	0.00
3+660	1420.40	0.00
3+680	1310.90	0.00
3+700	1126.90	0.00
3+720	1295.50	0.00
3+740	1432.00	0.00
3+760	1371.00	0.00
3+780	1317.30	0.00
3+800	1469.20	0.00
3+820	1542.90	0.00
3+840	1505.40	0.00
3+860	1223.40	0.00
3+880	841.30	0.00
3+900	670.20	0.00
3+920	607.30	0.00
3+940	768.60	0.00
3+960	1090.80	0.00
3+980	1064.00	0.00
4+000	840.50	0.00
4+020	890.20	0.00
4+040	972.80	0.00
4+060	946.90	0.00
4+080	847.90	0.00

4+100	700.00	0.00
4+120	700.00	0.00
4+140	926.50	0.00
4+160	978.60	0.00
4+180	824.60	0.00
4+200	692.80	0.00
4+220	596.20	0.00
4+240	549.90	0.00
4+260	545.30	0.00
4+280	597.60	0.00
4+300	671.40	0.00
4+320	718.10	0.00
4+340	737.30	0.00
4+360	757.30	0.00
4+380	806.50	0.00
4+400	837.40	0.00
4+420	836.00	0.00
4+440	805.90	0.00
4+460	788.00	0.00
4+480	767.00	0.00
4+500	730.60	0.00
4+520	658.10	0.00
4+540	610.80	0.00
4+560	599.70	0.00
4+580	524.20	0.00
4+600	476.30	0.00
4+620	463.70	0.00
4+640	417.70	0.00
4+660	389.50	0.00
4+680	426.60	0.00
4+700	433.40	0.00
4+720	343.20	0.00
4+740	205.50	3.70
4+760	123.20	3.70
4+780	89.90	8.80
4+800	30.40	40.30
4+820	28.40	37.00
4+840	75.50	15.00
4+860	130.40	9.50
4+880	193.00	0.00
4+900	268.50	0.00

4+920	315.70	0.00
4+940	305.80	0.00
4+960	306.40	0.00
4+980	340.20	0.00
5+000	312.20	0.00
5+020	236.70	0.30
5+040	244.80	0.30
5+060	259.90	0.00
5+080	243.00	0.00
5+100	265.90	0.00
5+120	267.10	0.00
5+140	283.70	0.00
5+160	379.80	0.00
5+180	456.40	0.00
5+200	422.90	0.00
5+220	394.70	0.00
5+240	408.70	0.00
5+260	433.50	0.00
5+280	489.80	0.00
5+300	451.60	0.00
5+320	380.10	0.00
5+340	391.80	0.00
5+360	474.50	0.00
5+380	551.40	0.00
5+400	604.40	0.00
5+420	638.20	0.00
5+440	643.30	0.00
5+460	557.20	0.00
5+480	423.50	0.00
5+500	339.10	0.00
5+520	236.40	0.00
5+540	192.80	0.00
5+560	206.70	0.00
5+580	138.90	6.20
5+600	65.90	7.40
5+620	71.50	1.20
5+640	96.90	0.00
5+660	96.50	0.00
5+680	95.10	0.00
5+700	102.50	0.00
5+720	103.40	0.00

5+740	104.50	0.00
5+760	68.40	1.90
5+780	23.80	8.60
5+800	26.00	9.50
5+820	45.90	12.30
5+840	69.20	11.20
5+860	83.10	2.00
5+880	70.20	0.60
5+900	85.20	1.40
5+920	115.30	1.40
5+940	138.80	1.70
TOTAL	168729.1	17303.00

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Excel.

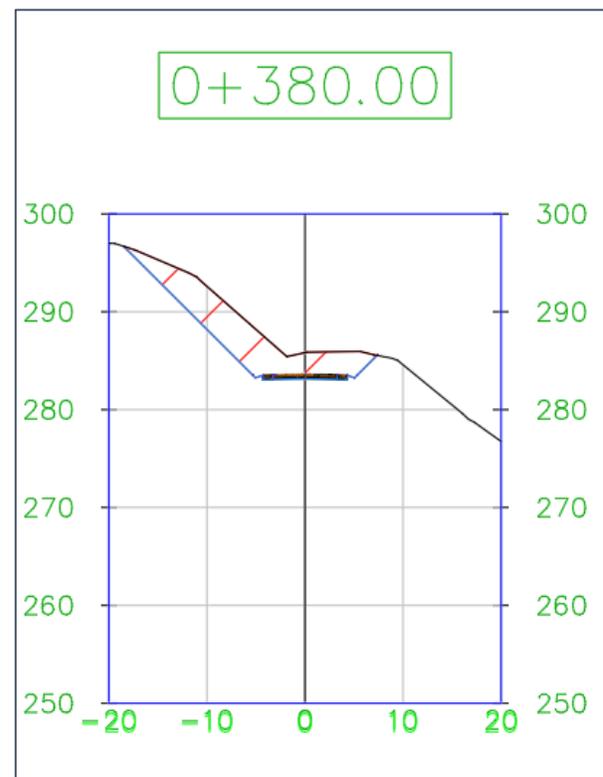


Figura 27. Sección de corte puro.

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en CIVIL3D.

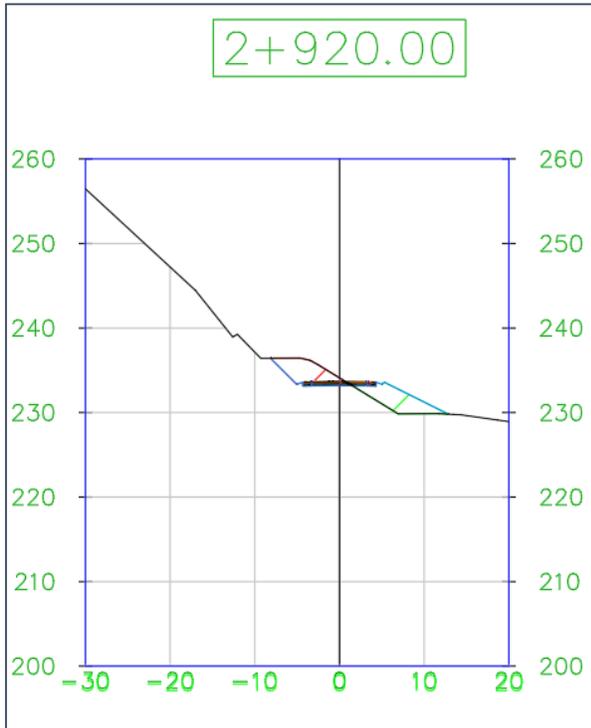


Figura 28. Sección en banco.
 Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en CIVIL3D.

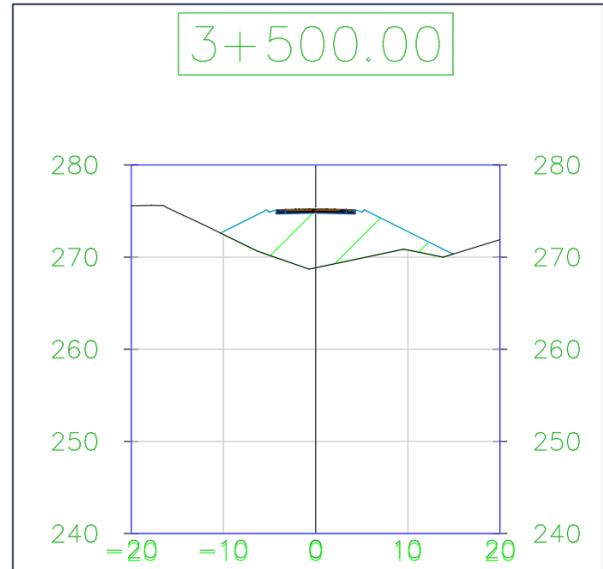


Figura 29. Sección de relleno puro.
 Fuente: Elaboración propia.
 Elaborado en CIVIL3D.

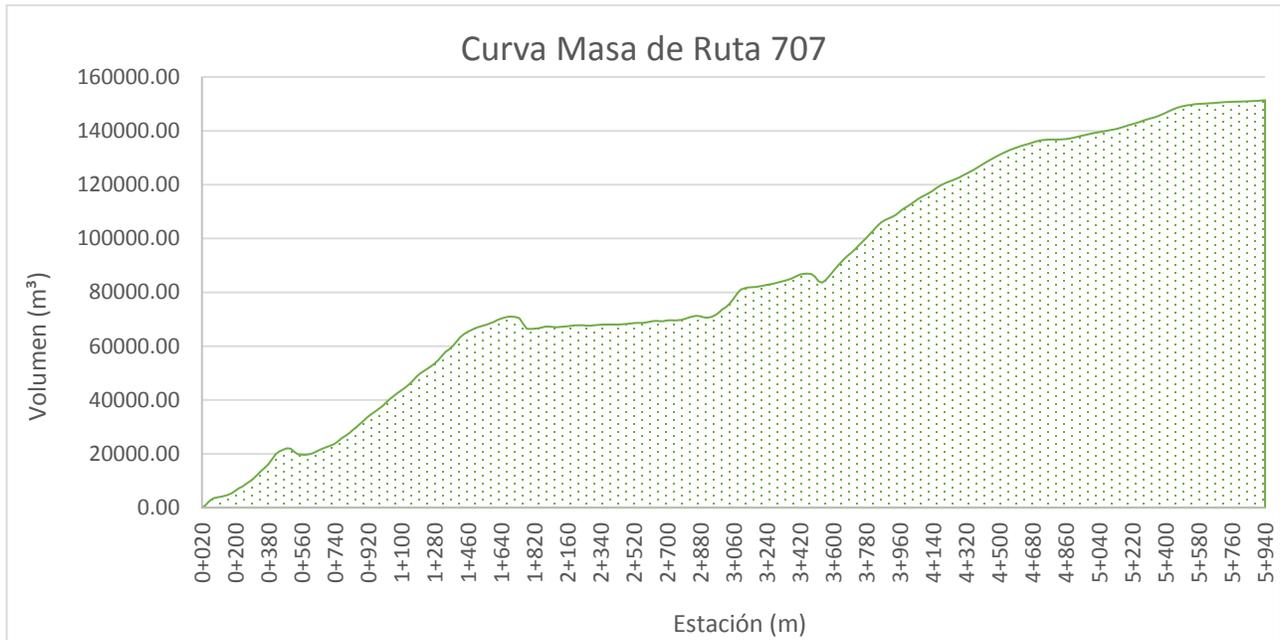


Figura 30. Curva Masa del movimiento de tierras del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Elaborado en Excel.

Señalización

A continuación se presenta la propuesta de señalización vertical, a la cual también se le agregará una señal de alto al inicio y al final del camino. La propuesta de señalización horizontal se colocó en los planos.

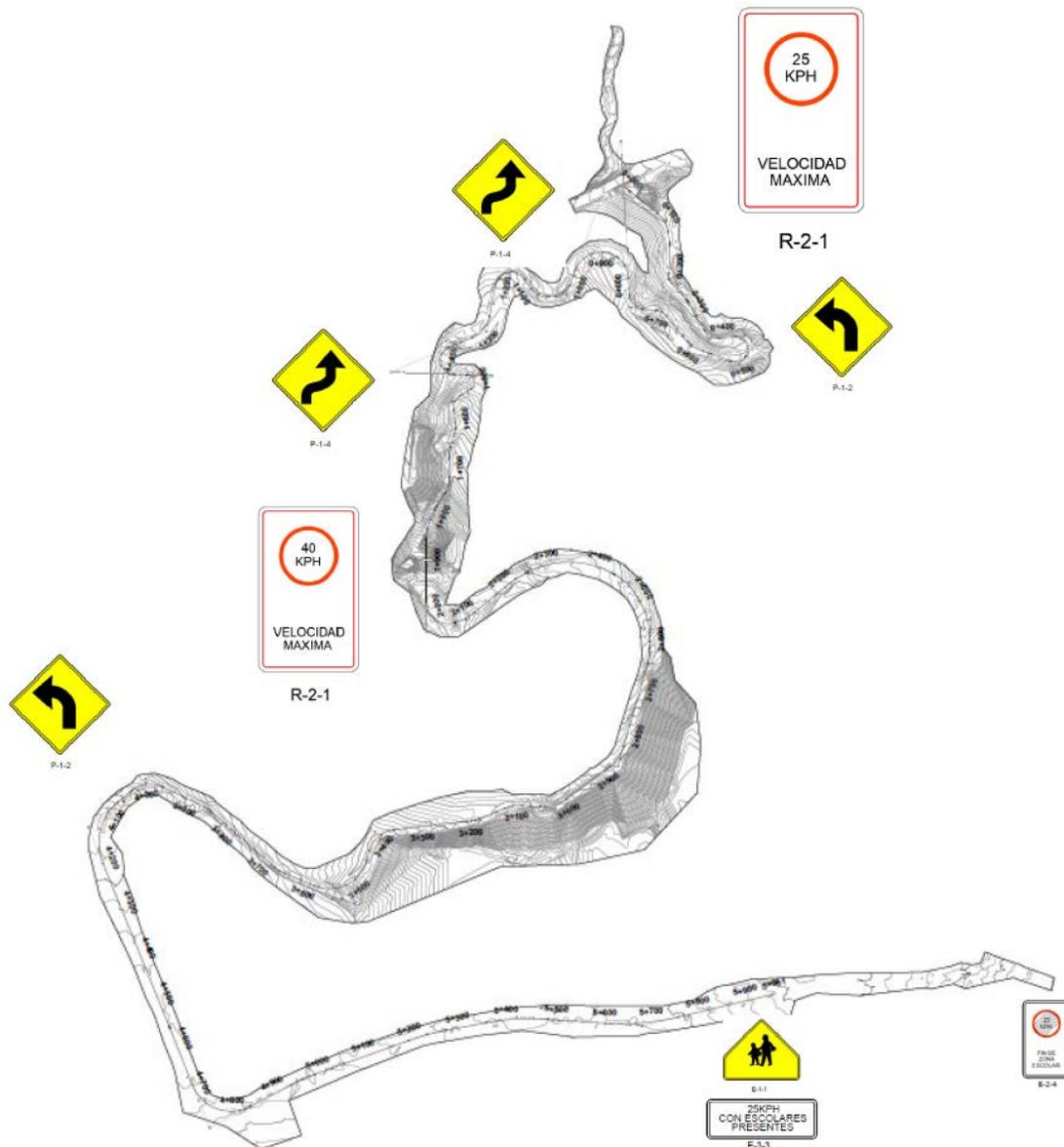


Figura 31. Propuesta de señalización vertical.

Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en AutoCAD.

App INFOPROYECTOS

A continuación se muestran las pantallas principales de la aplicación, las cuales se dividen en dos ramas, la primera es un visor de los datos diseñados en este proyecto, como trabaja con tablas de atributos, se pueden agregar más proyectos a futuro. La segunda rama es la calculadora de parámetros, donde se ingresan los datos geométricos y se pueden calcular parámetros, velocidad o ángulos cuerda grado.



FIGURA 32. PANTALLA DE INICIO DE LA APLICACIÓN.
Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en App Inventor.



FIGURA 33. PANTALLA DE ATRIBUTOS DEL PROYECTO ESPECÍFICO.
Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en App Inventor.



FIGURA 34. CALCULADORA DE PARÁMETROS.
Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en App Inventor.

En el siguiente código QR se puede descargar la aplicación para que el usuario pueda interactuar de primera mano con la misma.



FIGURA 35. DESCARGA DE APP INFOPROYECTOS
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los resultados

Para desarrollar este trabajo, el objetivo principal para el que se trabajó fue realizar el diseño geométrico y de drenajes menores de la Ruta Nacional N.º 707, con el uso de *softwares* de análisis para el diseño y así generar la documentación necesaria para el mejoramiento de la ruta.

Inicialmente, se realizó el diseño geométrico que incluye los alineamientos tanto horizontal como vertical, para los cuales se recibió la topografía tomada en campo por la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S. A. y se tomaron como base los requerimientos del cartel de licitación de este proyecto: para velocidad en el primer tramo (Est 0+000 a Est 2+260) de hasta 40 kph y para el segundo tramo (Est 2+260 a 6+360) de hasta 60 kph, utilizando la tabla 2 de radios mínimos, factores de fricción y peraltes recomendados según la velocidad específica del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del MOPT. Por ello, a la hora de realizar el trazado preliminar, se cuidó para el primer tramo no tener radios menores a 50 m, y de 120 m para el segundo tramo.

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados para el alineamiento horizontal trazado; se puede observar que hay varios casos en los que la velocidad específica no cumple con la mínima o, visto de otra manera, que los radios son menores al mínimo permitido. Sin embargo, no fue posible corregirlas debido a la naturaleza de la topografía del lugar (esta se puede ver en los planos adjuntos), por lo que se toma la medida de regular esos tramos con la propuesta de señalización que más adelante se explicará. En cuanto al peralte y la fricción, se tomarán las máximas permitidas en la tabla 2 y la pendiente máxima de la tabla 5 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del MOPT, las cuales se ven reflejadas en las tablas 6, para el primer tramo, y en la 7 para el segundo tramo.

Al pie de las tablas 3 y 4 se pueden observar dos campos de promedio; en el caso de la tabla 3, el promedio de velocidad de todas las

curvas corresponde a 40.58 kph, mientras que el promedio de velocidad de la curva más pequeña con la más grande corresponde a 55.00 kph. Esto quiere decir que a pesar de que 15 curvas en el primer tramo no cumplen, el camino se puede transitar en promedio en la velocidad requerida de 40 kph. Por su parte, el segundo tramo contiene 11 curvas que no cumplen, pero una velocidad promedio de 67.83 kph.

Las tablas 8 y 9 muestran los parámetros de las curvas horizontales, calculadas con las ecuaciones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. El espaciamiento de la curva se delimitó según los radios, de manera que un radio pequeño, como es el caso de la curva 3 ($R= 28$ m), no fuera estacionado a gran distancia, para lograr una mayor suavidad en la curva, por lo que se estacionó a cada 10 metros; o un radio grande no se estacionara muy seguido, como en el caso de la curva 42 ($R= 1000$ m), en la que se decidió estacionar a cada 40 m.

Las tablas 10 y 11 contienen las estaciones en las que se encuentran los puntos inicial, intermedio y final en cada una de las curvas, lo cual se puede apreciar gráficamente en los planos.

En los valores de las tablas 8 y 9 de longitud de transición (L_t), 65% de la recta y longitud de aplanamiento fueron calculados para poder posteriormente construir los diagramas de superelevación.

La superelevación en las curvas es importante para garantizar que se cuenta con el peralte necesario para transitar la curva de manera segura. Para poder apreciar la superelevación en la longitud de la curva se realizaron diagramas para todas las curvas, los cuales se muestran en los apéndices. Debido a la presencia de gran cantidad de cerros, el proyecto se vio obligado a tener curvas verticales y horizontales muy seguidas, por lo que cumplir con los criterios de diseño de la AASHTO fue imposible en algunos casos. En la figura 12 se puede observar el diagrama de la curva 1, el cual inicia en la estación

-0+013.48, lo que quiere decir que los 13.48 m previos al inicio del proyecto debe intervenir la curva con el fin de lograr una superelevación adecuada, además, esta es una de las curvas que para este proyecto que no cumplían con los criterios de AASHTO, para esto se realizó un ajuste con el fin de poder cumplir con los peraltes requeridos, se puede notar que no hay una longitud constante cercano al punto intermedio, caso contrario con la curva 4, (figura 13) que si lo cumplió, y por lo tanto no se necesitó hacer ajuste en dicha curva.

En algunos casos, para corregir los diagramas de superelevación, la solución es cambiar la línea de centro y distanciar más las curvas horizontales; sin embargo, en este proyecto en particular la topografía tan irregular que hay en el sitio lo imposibilitaba, razón por la cual se procedió a ajustar los diagramas como ya se mencionó.

Para el alineamiento vertical se obtuvo el perfil de terreno existente y se trazó la rasante lo más ajustada posible al terreno existente, debido a que como el proyecto constituye un mejoramiento de camino se trató de no tener grandes movimientos de terreno ni pendientes mayores al 12%, como solicita la AASHTO. En todo el proyecto esto se cumple, con excepción de la pendiente de entrada de la curva 9; sin embargo, la tangente que posee esa pendiente es de 20 m y, como ya se cuenta con una cantidad de corte significativa, se decidió que no es una longitud peligrosa y únicamente ese tramo entre las estaciones 1+460 a 1+480 puede quedar con el 15.90%.

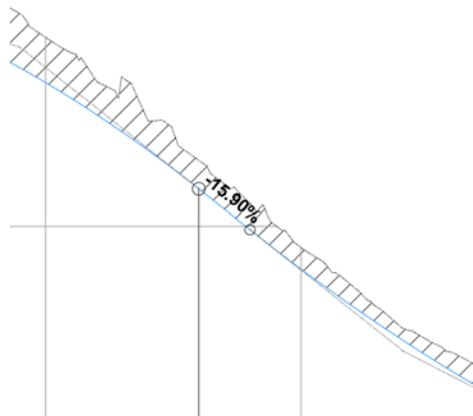


Figura 36. Tramo con pendiente mayor al 12%.
Fuente: Elaboración propia.
Elaborado en Civil 3D.

Una vez que se terminó la rasante con sus respectivas curvas, se extrajeron los datos que se muestran en las tablas 12 y 14, los cuales permiten ubicar los estacionamientos, las gradientes de entrada y salida, la longitud y la cantidad de curvas en cada tramo. De la tabla 13 se puede extraer el valor mínimo del K de la curva; en el caso de las curvas con velocidad de 40 kph, el K no debe ser inferior a 400 para curvas convexas y 800 para curvas cóncavas; por su parte, las curvas de 60 kph no deben tener un K menor a 1900 para curvas convexas y 1800 para cóncavas, dato que se obtiene interpolando los valores de la tabla 13.

Posteriormente, con ayuda de la ecuación 15, se determinó el K calculado; en la tabla 15 se observa que en todas las curvas el calculado es mayor al mínimo, por lo que el valor del resultado de la ecuación 15 se utilizó desde la curva 1 hasta la 14. En la tabla 16 se puede notar en las curvas 16 y 20 que el K calculado no cumple con el valor mínimo, entonces se utilizó únicamente para esos dos casos el valor obtenido de la tabla 13.

Como segundo objetivo, se planteó realizar el diseño de drenajes menores, necesarios para que el diseño funcione adecuadamente. Fue de suma importancia realizar una visita al sitio para apreciar las cuencas presentes en el lugar, que si bien es cierto se pueden trazar con las hojas cartográficas, también es importante verificar en campo para poder tener una correcta interpretación de la dirección de las aguas presentes en el lugar.

La gira a campo se realizó en condiciones de lluvia y se pudo notar que las cunetas no transportaban gran cantidad de agua, a pesar del gran tamaño de las cuencas, esto porque el suelo presentaba a simple vista absorción, condición que se verificó con los estudios de laboratorio. Según el estudio de suelos realizado por IMNSA Ingenieros Consultores S. A. y mostrado en el anexo 11, en su mayoría, el material presente corresponde a limos, los cuales, por su naturaleza, tienden a ser permeables. Esto quiere decir que en el sitio el agua de las cuencas que tributarán a los drenajes se verá influenciada por el suelo, el cual absorberá una parte importante de dicha agua, lo cual es bueno porque el suelo estará absorbiendo parte del agua que iría hacia los drenajes.

En la figura 14 se muestra el mapa de cuencas trazadas sobre la hoja cartográfica; allí se puede observar que las cuencas 4, 5.1, 5.2 y 6.1 no empiezan desde el cerro que se muestra en las curvas de nivel que corresponden a una parte alta,

por lo tanto, a una divisoria de aguas, esto es porque como se puede observar en el apéndice 2 ese cerro no tributa al proyecto. Cabe destacar que en la foto se muestra el punto 0+000 del proyecto y el sentido de avance hacia San Pablo es el de la demarcación que se observa en la carretera.

A la cuenca 1.1 se le colocará una alcantarilla de paso, con el fin de que las aguas de ella tributen a la alcantarilla de la cuenca 1.2; lo mismo pasará con las cuencas 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7, las cuales tendrán alcantarillas de paso hacia una alcantarilla de la cuenca 9.1. También, las cuencas 10.2, 10.3 y 10.4 le tributarán el agua por medio de alcantarillas de paso a la alcantarilla de la cuenca 10.1.

Por su parte, el agua de la cuenca 8.2 será evacuada por medio de cunetas hacia el río, razón por la cual no se requerirá alcantarilla para esa cuenca.

El método racional requiere que las cuencas que se estudian no tengan áreas mayores a 5 km²; en este caso, se utilizó el método racional para el cálculo de caudal, porque como se observa en la tabla 17 el área en cada una de las subcuencas es menor a 5 km².

El coeficiente de escorrentía obtenido para cada subcuenca se muestra en la tabla 18; se puede observar que desde la subcuenca 1.1 hasta la 6.1 el área comprendida corresponde solo a bosque, por lo que el coeficiente de escorrentía es bajo (0.45). Esto quiere decir que de toda el agua precipitada en esas áreas solo llegará el 45% a los drenajes, debido a que la vegetación y el suelo pueden absorber gran parte de ella; si se observa, el coeficiente en las últimas subcuencas de la tabla es más alto debido a la presencia de áreas de techos de casas que no absorberán el agua; se les asigna un coeficiente de 0.88, el cual sube el coeficiente total de la subcuenca; en el caso de la 13, hasta un 61%.

En la tabla 19 se muestran los tiempos de concentración del agua en cada subcuenca, los cuales varían según la longitud del cauce en relación con la diferencia de elevación entre los puntos más alto y bajo. El Manual Técnico del AyA establece un tiempo mínimo de 10 minutos al inicio de cada ramal donde se realice un aporte de escorrentía. En este caso, todas las subcuencas tuvieron un tiempo de concentración calculado menor al mínimo, por lo que el tiempo escogido en todas fue de 10 minutos.

La tabla 21 muestra las longitudes máximas por las que puede transportar caudal una sección de cuneta como la de la figura 16 en cada subcuenca. Esto permitió definir una distancia máxima entre una alcantarilla y otra, de manera que la sección propuesta diera abasto.

Para la propuesta de drenajes se tomaron en cuenta las alcantarillas existentes y el estado de estas; la ubicación se muestra en la figura 21, y el estudio de las existentes, en la tabla 22. Solo las de las estaciones 4+727 y 4+837 cumplen con el diámetro mínimo requerido en el CR-2010 de 80 cm, con el fin de facilitar labores de limpieza y mantenimiento. Además, se logró comprobar con la visita al campo que las alcantarillas existentes estaban en mal estado, ejemplo de ello se ve en los apéndices 14 al 28, por lo que se propuso remover todas y construir nuevas.

En la tabla 23, se observa en la cuarta columna el diámetro requerido para soportar el caudal calculado en cada alcantarilla. Sin embargo, como se mencionó previamente, el diámetro menor es de 80 cm, por lo que 20 alcantarillas serán construidas con tubería clase III y con 80 cm de diámetro (según CR-210). En el caso de las alcantarillas de cuadro existentes en las estaciones 2+850 y 3+477, se calculó que una tubería de 90 cm da abasto, por lo que no es necesario construir alcantarillas de cuadro como actualmente están en sitio, ya que la construcción de alcantarillas de tubo es más económica.

Por otro lado, la alcantarilla 2+048 recoge el agua de las subcuencas 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7; y la alcantarilla 2+234 recoge el agua de las subcuencas 10.1, 10.2 y 10.3 (ver figura 16), contrario a las demás alcantarillas que sirven como paso o recogen el agua de una sola subcuenca pequeña. Por lo anterior descrito, las alcantarillas de las estaciones 2+048 y 2+234 deberán recoger un caudal elevado, 12.97 m³/s y 8.29 m³/s, respectivamente. Se propuso en el diseño el uso de alcantarillas de cuadro para estos dos casos, ya que la tubería que puede abastecer los caudales calculados es grande y podría encarecer la obra.

En la tabla 24 se muestra la propuesta dimensional para alcantarillas de cuadro: para la estación 2+048 corresponde una alcantarilla de cuadro 2.44 m x 3.05 m, y para la estación 2+234, una alcantarilla de 1.4 m x 1.8 m.

Los diseños se realizaron con control a la entrada, con el fin de tener una carga hidráulica a la entrada menor a la altura de la alcantarilla y

lograr un escurrimiento en la alcantarilla siempre libre (alcantarilla tipo 1). Ejemplos de la revisión para garantizar el control a la entrada se muestran en la figura 20 para la estación 2+048, con una altura de 3.05 m (ver figura 23) y carga hidráulica a la entrada de 2.23 m; en la figura 21 para la estación 2+234, en caso de utilizar alcantarilla de cuadro con altura de 2.44 m (ver figura 24) y carga hidráulica de 2.34 m; y en la figura 22 para la estación 2+234, en caso de utilizar alcantarilla de tubo con diámetro de 2.13 m y carga hidráulica de 2.13 m.

Para la estación 2+234 se determinó que es más seguro y económico utilizar alcantarilla de cuadro de 1.4 m x 2.44 m; una tubería de 2.13 m es más costosa de transportar y la carga hidráulica estaría más comprometida que si se utiliza la de cuadro.

Como tercer objetivo, se calculó el volumen de corte y relleno del proyecto; en la tabla 26 se muestran los volúmenes de corte y relleno para cada estación, tomando en cuenta secciones a cada 20 m. En esta tabla se puede observar que el volumen de corte es muy elevado en relación con el relleno; esto se debe a que, como el proyecto es un mejoramiento, el camino ya existe. Cabe mencionar que la topografía es irregular, por lo que lo más económico es trabajar con lo que está y solo aplicar las respectivas correcciones para cumplir con el nuevo diseño. Para ello, en los casos donde el derecho de vía debía aumentarse,

se afectan los cerros junto al camino, y es la razón por la que en este proyecto en particular predominan los cortes; un ejemplo de esto se aprecia en la figura 27, donde se tiene una sección de corte puro, tomando el cerro de la izquierda para poder colocar la sección típica requerida. Por el contrario, en la figura 29, que es de corte puro, se elevó el terreno utilizando relleno, con el fin de mejorar la gradiente en el perfil; sin embargo, estos casos son pocos y en los casos que sucede el material de relleno será tomado del material de corte.

En este proyecto fue imposible cumplir el balance de Curva Masa, tal como se muestra en la figura 30; conforme se avanza en el proyecto, los rellenos son casi nulos, mientras que los cortes se mantienen durante toda la longitud. No se balanceó debido a que esto es más económico cuando se realizan caminos desde cero, pero en este caso en particular balancear la curva más bien afectaría en mayor medida el costo del proyecto.

Dentro del último objetivo, la propuesta de señalización se realizó para restringir principalmente las velocidades de los usuarios, ya que, en presencia de curvas cerradas, las altas velocidades pueden presentar un peligro para las personas.

Conclusiones y recomendaciones

- Se realizó el diseño geométrico para dos tramos, el primero entre las estaciones 0+000 hasta la 2+260 con velocidades de hasta 40 kph, y un segundo tramo desde la estación 2+260 hasta la 5+963. No obstante, con el fin de brindar seguridad al conductor, se restringió a la velocidad mínima correspondiente a cada tramo, específicamente 25 kph la velocidad del primer tramo y 40 kph la del segundo tramo.
- El diseño posee curvas horizontales seguidas, debido a que el 71% del camino corresponde a montaña, lo que evidencia un problema para superelevar la carretera según la normativa, ya que en este caso la administración limitó el derecho de vía al camino existente. Por ello, se procedió a realizar un ajuste de la superelevación en algunas curvas.
- Se trazó el alineamiento horizontal, comprobando que se cumplieran las especificaciones de AASHTO para pendientes máximas de 12%.
- Se realizó una propuesta de señalización, para dar a los conductores mensajes claros para resguardar su seguridad, limitando velocidades mínimas, altos, y señalización horizontal como tramos con doble línea amarilla y delimitación del derecho de vía.
- Se chequearon los estacionamientos propuestos por la administración para construir aceras a ambos lados, las cuales se consideran apropiadas porque es la zona residencial y escolar y poseen un ancho adecuado según la ley 7600.
- Se colocaron espaldones de 1.00 m de ancho a ambos lados, previendo un espacio adecuado para que un vehículo pueda orillarse en caso de tener un desperfecto y el flujo continuo de la carretera no se vea grandemente afectado; también, esta sección brindaría un espacio a los peatones que pasen por donde no se construirá acera, ya que en caso contrario tendrían que caminar por la cuneta.
- En los tramos 0+000 a 4+600 y 5+200 a 5+963 se propuso la construcción de cunetas revestidas con sección triangular en ambos lados con fondo de 0.25 m y ancho de 1.0 m. Se verificó que esta sección diera abasto en sus longitudes en todo el camino.
- Se determinaron 28 subcuencas que tributan agua al camino, con áreas menores a 5 km² que permitieran hacer uso del método racional para el cálculo de caudales.
- El caudal máximo obtenido fue de 12.97 m³/s, para el cual se diseñó 1 alcantarilla de cuadro con dimensiones 2.44 x 3.05 m.
- Se diseñó 1 alcantarilla de cuadro con dimensiones 1.4 x 2.44 m para abastecer un caudal de 8.29 m³/s.
- La intensidad de la lluvia que cae en la zona es de 145.81 mm/h para un tiempo de concentración de 10 minutos.
- Se diseñaron 20 alcantarillas de diámetro 80 cm, que es el mínimo permitido por el CR-2010 para labores de mantenimiento.
- Se diseñaron 3 alcantarillas con diámetro de 90 cm y 1 alcantarilla con diámetro de 120 cm.
- El volumen de corte calculado fue de 168 729.1 m³ y el volumen de relleno calculado fue de 17 303.00 m³; no fue posible balancear la Curva Masa, ya que representaría un elevado costo en el proyecto, debido a que la Administración solicitó adaptarse al camino existente.
- Después de haber desarrollado este proyecto, se recomienda en las licitaciones tener claros los objetivos y posibilidades del proyecto, en este caso

se solicitó mantener el derecho de vía existente y al mismo tiempo cumplir con toda la normativa a cabalidad, sin embargo, esto fue imposible debido a la restricción del terreno para trabajar.

- Dar un buen mantenimiento a las vías garantiza la conformidad de los transeúntes y alarga la vida de las rutas.
- Mantener la señalización tanto horizontal como vertical en buen estado para poder

dar el mensaje claro a los conductores de las advertencias que garantizan su seguridad en carretera.

- En proyectos como este, cuando estabilizar la curva masa es imposible, se recomienda que la Administración incluya un apartado en la licitación para la construcción donde se planea la disposición del material que se va a cortar.

Apéndices

Apéndice 1. Foto de inicio del proyecto.

Apéndice 2. Foto de inicio del proyecto.

Apéndice 3. Foto de roca al inicio del proyecto.

Apéndice 4. Foto de camino.

Apéndice 5. Foto de camino

Apéndice 6. Foto de camino

Apéndice 7. Foto de deterioro a las márgenes de la calzada por falta de cunetas revestidas.

Apéndice 8. Foto de deterioro de la calzada en pendientes pronunciadas y talud cercano al puente.

Apéndice 9. Foto de puente sobre Río Grande.

Apéndice 10. Foto de estación 2+048.

Apéndice 11. Foto de estado de tragante.

Apéndice 12. Foto de estación 4+240.

Apéndice 13. Foto de intersección en estación 4+800.

Apéndice 14. Alcantarilla Est 0+565.

Apéndice 15. Alcantarilla Est 0+715.

Apéndice 16. Alcantarilla Est 0+805.

Apéndice 17. Alcantarilla Est 1+155.

Apéndice 18. Alcantarilla Est 1+375.

Apéndice 19. Alcantarilla Est 1+585.

Apéndice 20. Alcantarilla de cuadro existente en estación 2+048.

Apéndice 21. Alcantarilla de cuadro existente en estación 2+234.

Apéndice 22. Alcantarilla Est 2+520.

Apéndice 23. Alcantarilla Est 2+710.

Apéndice 24. Alcantarilla de cuadro existente Est 2+850.

Apéndice 25. Alcantarilla Est 3+000.

Apéndice 26. Alcantarilla Est 3+210.

Apéndice 27. Alcantarilla de cuadro existente Est 3+477.

Apéndice 28. Alcantarilla Est 3+080.



Apéndice 1. Foto de inicio del proyecto.



Apéndice 4. Foto de camino.



Apéndice 2. Foto de inicio del proyecto.



Apéndice 5. Foto de camino



Apéndice 3. Foto de roca al inicio del proyecto.



Apéndice 6. Foto de camino



Apéndice 7. Foto de deterioro a las márgenes de la calzada por falta de cunetas revestidas.



Apéndice 10. Foto de estación 2+048.



Apéndice 8. Foto de deterioro de la calzada en pendientes pronunciadas y talud cercano al puente.



Apéndice 11. Foto de estado de tragante.



Apéndice 9. Foto de puente sobre Río Grande.



Apéndice 12. Foto de estación 4+240.



Apéndice 13. Foto de intersección en estación 4+800.



Apéndice 14. Alcantarilla Est 0+565.



Apéndice 15. Alcantarilla Est 0+715.



Apéndice 16. Alcantarilla Est 0+805.



Apéndice 18. Alcantarilla Est 1+375.



Apéndice 17. Alcantarilla Est 1+155.



Apéndice 19. Alcantarilla Est 1+585.



Apéndice 20. Alcantarilla de cuadro existente en estación 2+048.



Apéndice 21. Alcantarilla de cuadro existente en estación 2+234.



Apéndice 22. Alcantarilla Est 2+520.



Apéndice 23. Alcantarilla Est 2+710.



Apéndice 24. Alcantarilla de cuadro existente Est 2+850.



Apéndice 25. Alcantarilla Est 3+000.



Apéndice 27. Alcantarilla de cuadro existente Est 3+477.



Apéndice 26. Alcantarilla Est 3+210.

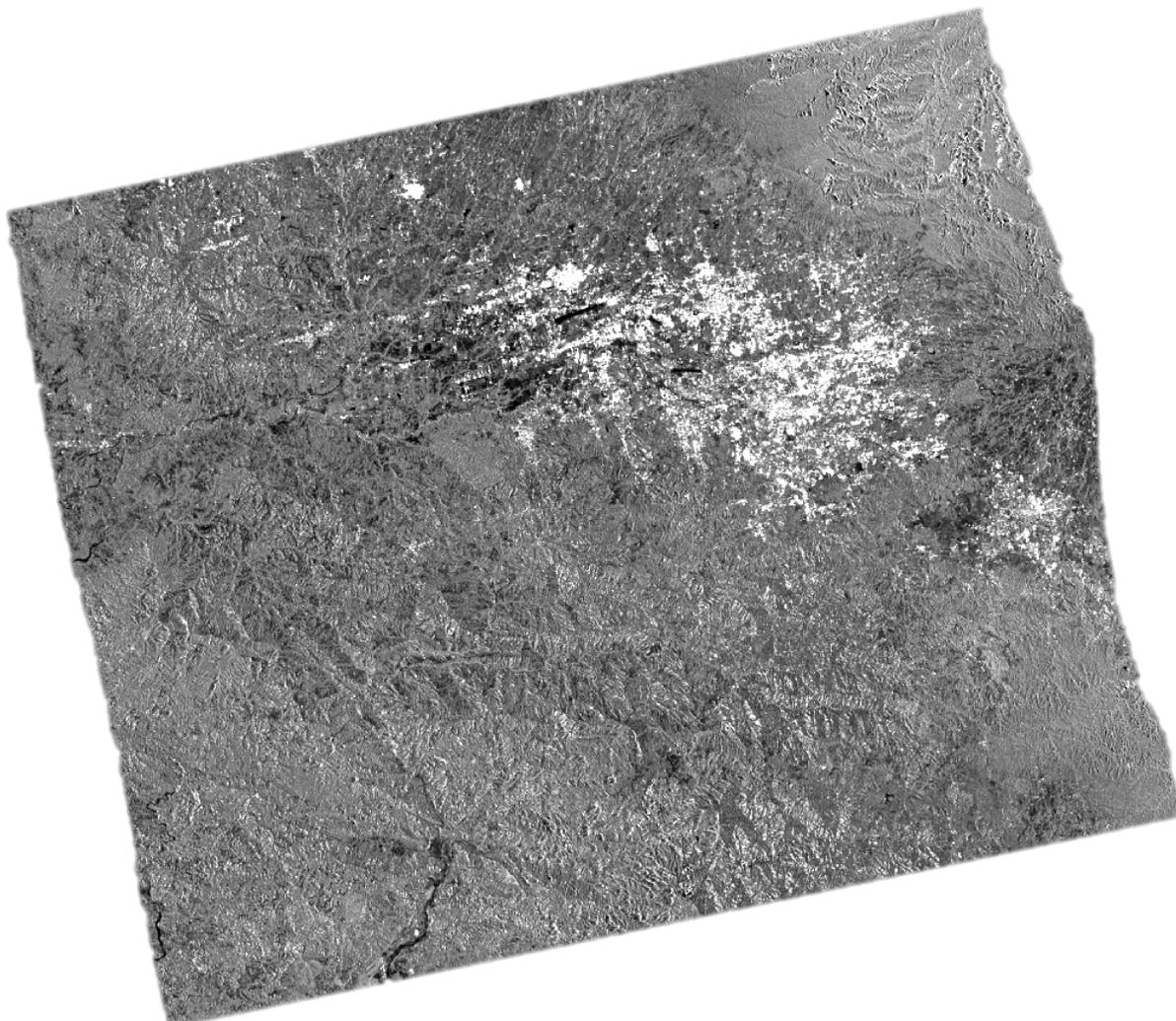


Apéndice 28. Alcantarilla Est 3+080.

Anexos

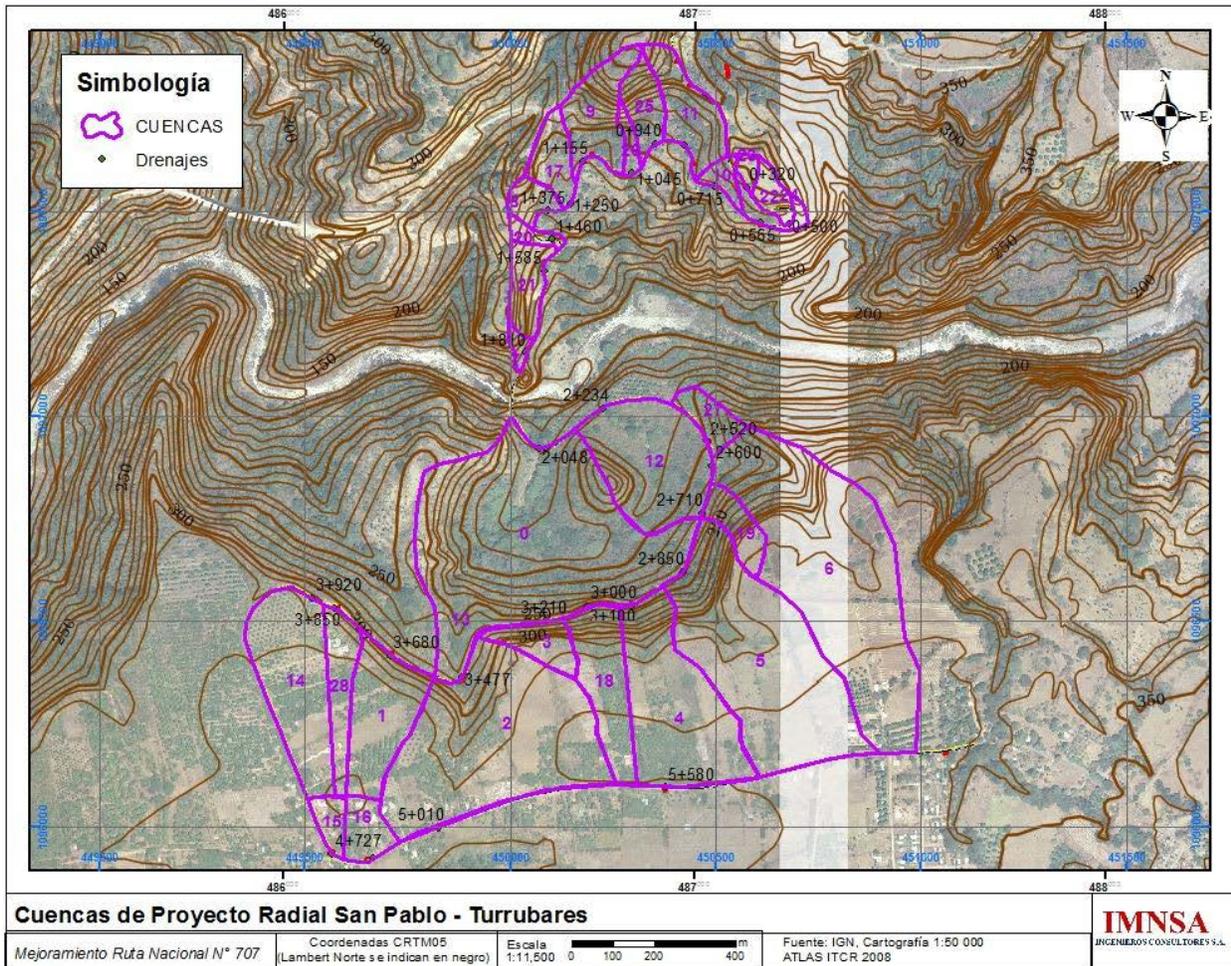
Anexo 1. Modelo de Elevación Digital del Satélite Alos Palsar para región San Pablo de Turrubares. AP_26477_FBS_F0180_RT1.	71
Anexo 2. Cuencas del proyecto de Ruta 707 delimitadas por IMNSA Ingenieros Consultores S. A.	72
Anexo 3. Coeficientes de escorrentía propuestos para un cierto período de retorno.	73
Anexo 4. Cuadro. Colores utilizados en dispositivos de control de tránsito (día).	74
Anexo 5. Cuadro. Colores utilizados en dispositivos de control de tránsito (noche).....	74
Anexo 6. Función del código de colores.	75
Anexo 7. Elementos geométricos de las secciones de canal.....	76
Anexo 8. Coeficientes mínimos para la “n” de Manning.....	77
Anexo 9. Curvas IDF Estación 84-148 del IMN.	77
Anexo 10. Características de los tubos de concreto trabajando al 94%.	78
Anexo 11. Límites de Atterberg para la subrasante del Proyecto.	79
Anexo 12. CBR de subrasante del proyecto.....	79
Anexo 13. Dimensiones de cabezal tipo CA-1... ..	80

Anexo 1. Modelo de Elevación Digital del Satélite
Alos Palsar para región San Pablo de Turrubares.
AP_26477_FBS_F0180_RT1



Fuente: Japan Aerospace Exploration Agency, 2011

Anexo 2. Cuencas del proyecto de Ruta 707 delimitadas por IMNSA Ingenieros Consultores S. A.



Fuente: IMNSA Ingenieros Consultores S.A.

Anexo 3. Coeficientes de escorrentía propuestos para un cierto período de retorno

Características de la superficie	Periodo de retorno						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior al 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior al 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición pobre (cubierta de pasto mayor al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior al 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior al 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior al 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.20	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.26	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior al 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1988.

Anexo 4. Cuadro. Colores utilizados en dispositivos de control de tránsito (día)

COLOR	TABLA PANTONE
Amarillo	116 C
Naranja	021 CV
Rojo	485 C
Verde	348 C
Blanco	White
Negro	Black C
Azul	294 C
Café	1405
Amarillo limón	809 C

Fuente: Cuadro 1.1. SIECA, 2014.

Anexo 5. Cuadro. Colores utilizados en dispositivos de control de tránsito (noche)

COLOR	COORDENADA CROMÁTICA							
	1		2		3		4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Amarillo	0.498	0.412	0.557	0.442	0.479	0.520	0.428	0.472
Naranja	0.558	0.352	0.636	0.364	0.570	0.429	0.506	0.404
Rojo	0.648	0.351	0.735	0.265	0.629	0.281	0.565	0.346
Verde	0.026	0.399	0.166	0.364	0.286	0.446	0.207	0.771
Blanco	0.303	0.300	0.368	0.366	0.340	0.393	0.274	0.329
Azul	0.140	0.035	0.244	0.210	0.190	0.255	0.065	0.216
Café	0.430	0.340	0.610	0.390	0.550	0.450	0.430	0.390
Amarillo limón	0.387	0.610	0.369	0.546	0.428	0.496	0.460	0.540

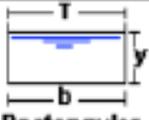
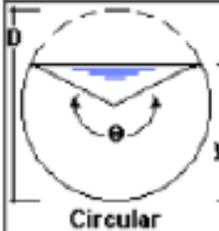
Fuente: Cuadro 1.2. SIECA, 2014.

Anexo 6. Función del código de colores

1.4.1.1 Código de colores		
1.4.1.1.1	Amarillo: Código 116C	Prevención general, color de fondo de las señales de prevención.
1.4.1.1.2	Naranja: Código 021CV	Prevención de situaciones temporales, como trabajos de construcción, mantenimiento, reparaciones, atención de incidentes y emergencias, color de fondo de señales de prevención temporal.
1.4.1.1.3	Blanco: Código White	Regulación e información, color de fondo para las señales de reglamentación y de información en vías convencionales. Se usa en la leyenda de la señal de ALTO", R-1-1, y en las leyendas de las señales con color de fondo rojo, negro, verde, azul y café.
1.4.1.1.4	Negro: Código Black C	Regulación, prevención e información, color fondo de señales de regulación nocturna. Se usa en los símbolos, ribetes y figuras de todo tipo de señales, en particular en las señales con color de fondo blanco, amarillo y anaranjado).
1.4.1.1.5	Rojo: Código 485C	Alto, prohibición o maniobra crítica, color fondo en la señal de "ALTO" y otras reglamentarias que se refieren a maniobras críticas. También se usa en las orlas, símbolos, letras y la barra o franja diagonal en algunas señales de reglamentación.
1.4.1.1.6	Azul: Código 294C	Guía de servicios al automovilista y al turista, color de fondo de esas señales informativas.
1.4.1.1.7	Verde: Código 348C	Indica movimientos permitidos y guía de navegación y direcciones en vías rápidas, autopistas y ciclovías, color de fondo de ese tipo de señales informativas.
1.4.1.1.8	Café: Código 1405	Guía a sitios recreativos, parques nacionales y otros de interés cultural, administrados por entes públicos o sin fines de lucro, color de fondo de esas señales informativas.
1.4.1.1.9	Amarillo limón (Fluorescente): Código 809C	Se autoriza su uso opcional en sustitución del amarillo, únicamente para prevenir sobre la presencia de cruces de peatones, de bicicletas y en zonas escolares, con el fin de mejorar la visibilidad de la señal en horas de baja luminosidad solar.
1.4.1.1.10	Morado:	Sin asignar
1.4.1.1.11	Celeste:	Sin asignar
1.4.1.1.12	Coralino:	Sin asignar

Fuente: SIECA, 2014.

Anexo 7. Elementos geométricos de las secciones de canal

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 <p>Rectangular</p>	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 <p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 <p>Triangular</p>	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 <p>Parabólica</p>	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

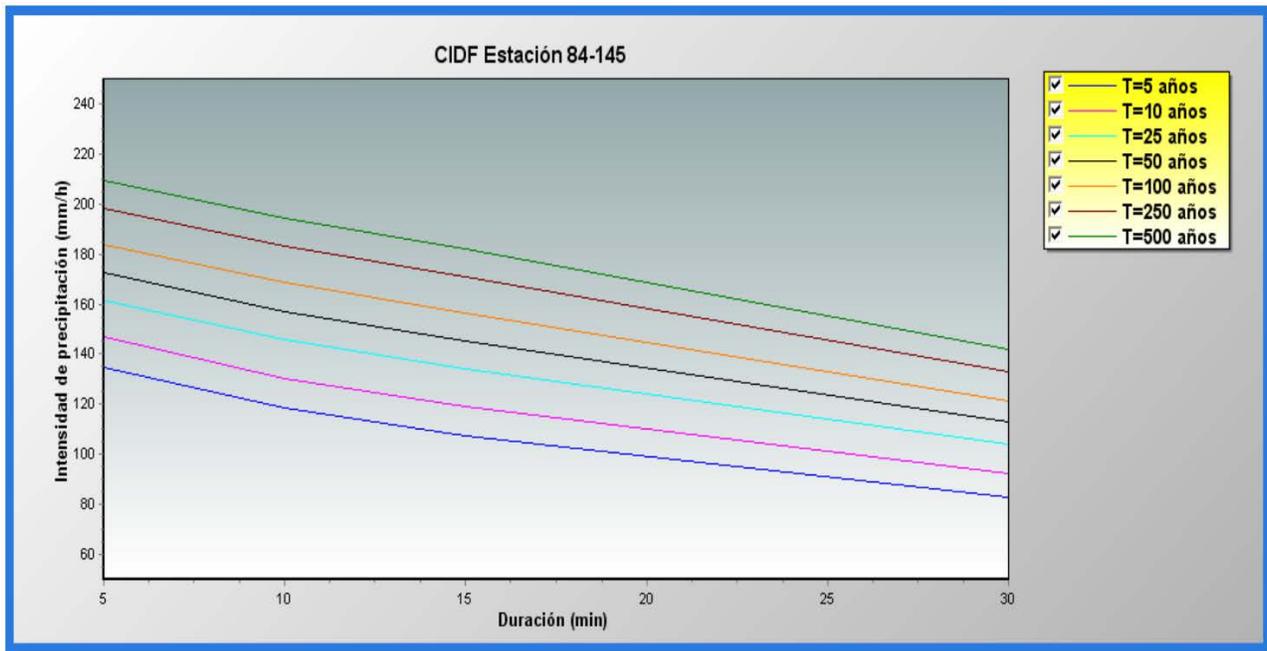
Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1988.

Anexo 8. Coeficientes mínimos para la "n" de Manning

Tipo de material	Coeficiente para la "n" de Manning
Cloruro de Polivinilo (PVC)	0,010
Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de pared sólida	0,010
Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de pared corrugada estructurada	0,012
Hierro Dúctil revestido internamente	0,011
Políester reforzado con fibra de vidrio	0,010
Acero sin revestir con juntas soldadas	0,012
Concreto C-14 y C-76 sin revestir por dentro	0,013

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017.

Anexo 9. Curvas IDF Estación 84-148 del IMN



Fuente: Rojas, 2011.

Anexo 10. Características de los tubos de concreto trabajando al 94%

Tabla 3.20 Características de los tubos trabajando a 0.94 del diámetro

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Área (0.94) (m ²)	2/3 AR (m ⁸ /3)	Número de Froude = 1.10				Número de Froude = 0.90			
				Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)
10	10.20	0.0088	0.0008	0.010	1.29	0.0348	0.009	0.009	1.14	0.0280	0.100
15	15.20	0.0177	0.0022	0.027	1.57	0.0305	0.025	0.025	1.40	0.0246	0.149
20	20.30	0.0316	0.0048	0.057	1.82	0.0277	0.051	0.051	1.61	0.0223	0.199
25	25.40	0.0494	0.0087	0.099	2.03	0.0257	0.089	0.089	1.80	0.0207	0.249
30	30.50	0.0713	0.0141	0.156	2.23	0.0242	0.141	0.141	1.98	0.0195	0.299
30	30.00	0.0690	0.0135	0.150	2.21	0.0210	0.277	0.135	1.96	0.0169	0.294
40	40.00	0.1226	0.0291	0.308	2.55	0.0190	0.484	0.277	2.26	0.0153	0.392
50	50.00	0.1915	0.0528	0.538	2.85	0.0177	0.605	0.485	2.53	0.0142	0.490
60	60.00	0.2758	0.0859	0.849	3.13	0.0166	0.726	0.764	2.77	0.0134	0.588
70	70.00	0.3754	0.1295	1.25	3.38	0.0158	0.847	1.12	2.99	0.0127	0.686
80	80.00	0.4903	0.1849	1.74	3.61	0.0151	0.968	1.57	3.20	0.0122	0.784
90	90.00	0.6206	0.2532	2.34	3.83	0.0145	1.09	2.11	3.39	0.0117	0.882
100	100.00	0.7662	0.3353	3.05	4.04	0.0140	1.21	2.74	3.58	0.0113	0.980
120	120.00	1.103	0.5452	4.81	4.42	0.0132	1.45	4.32	3.92	0.0106	1.18
137	137.20	1.442	0.7793	6.72	4.73	0.0216	1.66	6.04	4.19	0.0102	1.34
152	152.40	1.779	1.031	8.73	4.98	0.0122	1.84	7.86	4.42	0.0980	1.49
168	167.60	2.152	1.329	11.1	5.22	0.0118	2.03	9.97	4.63	0.0095	1.64
183	182.90	2.563	1.677	13.8	5.46	0.0115	2.21	12.4	4.84	0.0092	1.79
213	213.40	3.489	2.531	20.3	5.89	0.0109	2.58	18.2	5.23	0.0088	2.09

Notas:

- 1) n = 0.013 (para tubos menores que 30 cm)
- 2) n = 0.014 (para tubos mayores que 30 cm)
- 3) V = velocidad (para F = 1.1 se calculó a 0.9178 d)

- 4) hv = V²/2g (para F = 1.1 se calculó a y = 0.94 d)
- 5) Sf = pendiente de fricción (para F = 1.1 se calculó a y = 0.9178 d)
- 6) Si la caída K V²/2g en el pozo es grande (>45 cm) se recomienda utilizar la caída y pozo tipo AyA.

Fuente: Manual Técnico, Productos de Concreto, 2012.

Anexo 11. Límites de Atterberg para la subrasante del Proyecto

ESTACION	LL	LP	IP	% PASANDO LA #200	SUCS	ESTACION	LL	LP	IP	% PASANDO LA #200	SUCS
0+000	43	30	14		ML	0+500	48	32	16	82,1	ML
1+000	50	40	10	81,0	MH	1+500	47	38	9	67,7	ML
2+000	51	39	12	48,0	SM	2+500	66	37	29	87,1	MH
3+000	48	38	9,7	23,3	SM	3+500	67	27	40	94,6	CH
4+000	46	34	12	61,5	ML	4+500	71	51	20	77,1	MH
5+000	58	38	20	61,6	MH	5+500	33	22	11	49,6	CL
6+000	50	29	21	76,6	MH	6+500	57	43	14	89,0	MH
PROMEDIO	49,3	36,4	12,9	55,1		PROMEDIO	55,3	34,4	20,9	75,2	
MAX	58,0	39,7	20,1	81,0		MAX	71,0	50,7	39,8	94,6	
MIN	43,0	29,5	9,7	23,3		MIN	33,0	21,6	9,2	49,6	

Fuente: IMNSA Ingenieros Consultores S. A., 2015.

Anexo 12. CBR de subrasante del proyecto

ESTACION	Índice de Soporte California, CBR		
	AI 91%	AI 95%	AI 97%
1+000	3.8	4.2	4.6
2+000	3.7	4.1	4.5
3+000	4.5	5.0	5.5
4+000	4.9	5.4	5.9
5+000	5.5	6.1	6.7
6+000	5.4	6.0	6.6

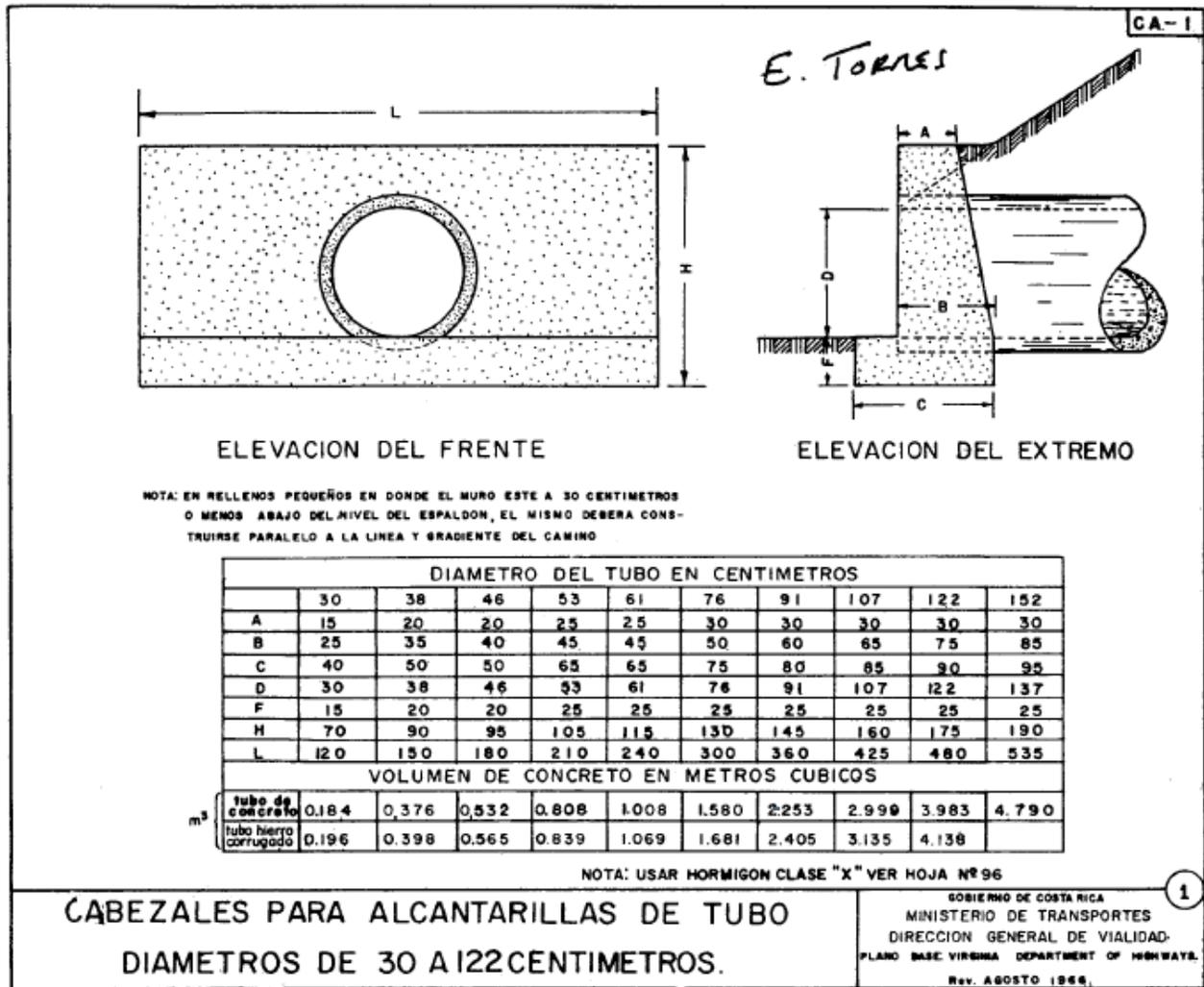
PROMEDIO	4.6	5.1	5.6
MAX	5.5	6.1	6.7
MIN	3.7	4.1	4.5

ESTACION	Índice de Soporte California, CBR		
	AI 91%	AI 95%	AI 97%
0+500	3.9	4.3	4.7
1+500	3.8	4.2	4.6
2+500	4.8	5.3	5.8
3+500	5.0	5.5	6.1
4+500	5.6	6.2	6.8
5+500	5.3	5.9	6.5
6+500	5.1	5.7	6.3

PROMEDIO	4.8	5.3	5.8
MAX	5.6	6.2	6.8
MIN	3.8	4.2	4.6

Fuente: IMNSA Ingenieros Consultores S. A., 2015

Anexo 13. Dimensiones de cabezal tipo CA-1



Fuente: MOPT, 1966.

Referencias

- Alonzo, L. & Rodríguez, G. (2005). *Carreteras*. Yucatán, México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1984). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C., EE.UU.
- Auto Mundo Perú. (2016). *Como adelantar de forma segura a otro vehículo*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qAMwZKFqAMw>
- Ávila, T. (2017). *Tema 6: Materiales Granulares En Estructuras De Pavimentos*. Presentado en Curso Inspectores Viales Ciudadanos, Lanamme.
- Brière, F. G. & Pizarro, H. (2005). *Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia*. Canadá: Presses inter Polytechnique.
- Campos, C. (2017). *Tema 1: Conceptos Básicos Y Generalidades*. Presentado en Curso Inspectores Viales Ciudadanos, Lanamme.
- Cárdenas, J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Colombia: Ecoe Ediciones.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York, USA: McGraw-Hill.
- CYPE Ingenieros, S.A. (2008). *Generador de precios. Espacios urbanos*. Recuperado de http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Instalaciones/Urbanas/Redes_y_sistemas_de_drenaje/Cuneta_revestida_de_hormigon.html
- Crespo, C. (2007). *Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puentes*. México: Editorial Limusa.
- Dobles, M. (2013). *Trazado y Diseño Geométrico de Vías* (2a ed.). San José, Costa Rica: Editorial UCR.
- Fienco, M., Bravo, B., Guachisaca, V., Jaramillo, E. & Fienco, V. (2017). *Elementos Originales en el Diseño Geométrico de Carreteras*. Ecuador: 3Ciencias.
- García, A., Rosique, M. & Segado, F. (1994). *Topografía básica para ingenieros*. Murcia, España: EDITUM.
- Hernández, E. (1993). *Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas*. Mérida, Venezuela: Food & Agriculture Org.
- Ignacio del Corral, M. de V. (1996). *Topografía de obras*. España: Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, de Saneamiento y Pluvial*. San José, Costa Rica.
- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). (2011). *Modelo de Elevación Digital del*

- Satélite Alos Palsar para región San Pablo de Turrubares.* Recuperado de <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes: CR-2010*, Costa Rica. Recuperado de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/391>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (1966). *Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras*, Costa Rica. Recuperado de <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/7e408f82-e68a-4ea3-8a41-fc6940de2ad5/NORMAS+Y+DISENOS++1966.pdf?MOD=AJPERES>.
- Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia.
- Morales, H. (2006). *Ingeniería Vial I*. Santo Domingo, República Dominicana: INTEC.
- Núñez, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Pescetto, C. J. P. (2014). Hidrología en carreteras y caminos. Recuperado de https://www.academia.edu/21258569/Hidrologia_en_carreteras_y_caminos
- Productos de Concreto. (2012). *Manual Técnico*. Cap 3: Tuberías. San José, Costa Rica.
- Rodríguez, A. R. & Castillo, H. del. (2006). *Ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. México: Editorial Limusa.
- Rojas, N. (2011). *Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas*. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.
- Scipión, E. (1999). *Diseño de Carreteras. Normas DG. Caminos I*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. (2001). *Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales*. Guatemala.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala.
- Torres, A. (2004). *Apuntes de clase sobre hidrología urbana*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads. (1963). *Hydraulic Charts for the Selection of Highway Culverts*, Hydraulic Engineering Circular No.5.
- Viessman, W. & Hammer, M. (2009). *Water supply and pollution control* (8th Ed.). Upper Saddle River, N.J: Pearson.
- Villón, M. (2007). *Drenaje*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.