

Estudio de Factibilidad Radial entre R.N.1 y Sarchí Norte (Resumen Ejecutivo)

Marzo, 2020



Preparado para:
Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

Camacho Y Mora S.A.

INF-OT-16-27-335



Marzo 2020

Ing. Daniel Gutiérrez Saborío

Ing. Cinthia Santana Sánchez

Ing. Edgar Manuel Salas Solís

Dirección de Contratación de Vías y Puentes

Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

Referencia: Licitación Abreviada No. 2015-000070-0GCTT “Contratación de servicios profesionales para la elaboración del estudio de factibilidad para la construcción de la radial entre la Ruta Nacional No.1 y Sarchí Norte (Ruta Nacional No. 118)”

Estimados Ingenieros

Por este medio se hace entrega del Resumen ejecutivo correspondiente a la compilación de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto en referencia.

Apreciamos la oportunidad de estar en continuo servicio de CONAVI. Por favor notificar si tiene algún comentario.

Sin más por el momento

Ing. José Ml. Camacho Castro

Representante Legal

Camacho y Mora S.A

SIGLAS

CAE	Costo Anual Equivalente.
CNC	Consejo Nacional de Concesiones.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CGV	Costo Generalizado del Viaje.
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad.
DJCA	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.
DPPI	Departamento de Proyectos y Programación de Inversiones.
EsIA	Estudio de Impacto Ambiental.
FCS	Factor de Conversión Estándar.
Fd	Factor de Conversión de la Divisa.
FEH	Factores de expansión horaria.
FMOC	Factor de Conversión de la Mano de Obra Calificada.
FMONC	Factor de Conversión de la Mano de Obra No Calificada.
HDM	Highway Design and Management (siglas en inglés).
IAP	Impacto Ambiental Potencial.
ILPES	Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social.
IRI	International Roughness Index.
IVAN	Índice de Rentabilidad de la Inversión.
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
MIIA	Matriz de Importancia de Impacto Ambiental.
MINAE	Ministerio del Ambiente y Energía.
MOC	Mano de Obra Calificada.
MONC	Mano de Obra No Calificada.
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
PIEG	Política Nacional para la Igualdad y Equidad de Género.
P-PGA	Pronóstico - Plan de Gestión Ambiental.
PND	Plan Nacional de Desarrollo.
PNIP	Plan Nacional de Inversión Pública.
PNT	Plan Nacional de Transporte.
PRODEV	Programa de Mejoramiento de la Eficiencia de la Gestión Pública.
PONADIS	Política Nacional sobre Discapacidad.
R-B/C	Relación Beneficio-Costo.
RVC	Red Vial Cantonal.
RVN	Red Vial Nacional.
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental.
SEVRI	Sistema Específico de Valoración del Riesgo Institucional.
VAC	Valor Actual de los Costos.
VAN	Valor Actual Neto.
VANE	Valor Actual Neto Económico.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
TIRE	Tasa Interna de Retorno Económico.
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual.
TPD	Tránsito Promedio Diario.
TPDS	Tránsito Promedio Diario Semanal.
TRARR	Traffic on Rural Roads (siglas en inglés).
TREMA	Tasa de Retorno Mínima Atractiva.
TRI	Tasa de Rentabilidad Inmediata.
TSD	Tasa Social de Descuento.
VOC	Vehicle Operating Cost (siglas en inglés)
UE	Unidad Ejecutora.

Índice

1. Introducción	1-1
1.1 Antecedentes.....	1-1
1.2 Alcance.....	1-3
1.3 Limitaciones	1-3
2. Identificación del Proyecto.....	2-1
2.1 Generalidades	2-1
2.2 Antecedentes.....	2-1
2.3 Identificación del problema.....	2-2
2.4 Situación base	2-3
2.5 Alternativas de solución.....	2-4
2.6 Selección de la alternativa de solución.....	2-11
2.7 Determinación del área de influencia.....	2-14
2.8 Beneficiarios del proyecto.....	2-15
3. Formulación del Proyecto.....	3-1
3.1 Análisis de mercado.....	3-1
3.1.1 Estimación de la demanda vehicular actual y proyecta	3-1
3.2 Análisis técnico	3-8
3.2.1 Topografía	3-8
3.2.2 Diseño Geométrico	3-8
3.2.3 Paso a desnivel, Puentes y estructura de drenaje mayor	3-10
3.2.4 Estructuras de drenaje menor.....	3-11
3.2.5 Pavimentos.....	3-13
3.2.6 Intersecciones a intervenir	3-16
3.3 Componentes del proyecto.....	3-17
3.4 Análisis de riesgos	3-17
3.4.1 Identificación de amenazas	3-17
3.5 Análisis ambiental.....	3-24
4. Evaluación del Proyecto	4-1
4.1 Costos.....	4-1
4.2 Valor residual.....	4-3
4.3 Evaluación económica-social	4-3
4.4 Análisis de sensibilidad.....	4-5
5. Resumen de Alternativa Seleccionada	5-1
6. Anexos.....	6-1
6.1 Evaluación Ambiental.....	6-1
6.2 Alternativa Seleccionada (Opción B con pavimento semirígido)	6-2

Índice de Cuadros

Cuadro 2-1. Análisis Comparativo de Opciones.....	2-13
Cuadro 3-1. Demanda actual por tramo.....	3-2
Cuadro 3-2. Longitudes de tramos viales para las secciones del proyecto.....	3-4
Cuadro 3-3. Curvatura Horizontal de tramos viales para el proyecto.....	3-5
Cuadro 3-4. Ascensos y descensos de tramos viales para el proyecto.....	3-6
Cuadro 3-5. Características de sección transversal de tramos viales para el proyecto.....	3-6
Cuadro 3-6. Características de Superestructura de tramos viales para el proyecto.....	3-7
Cuadro 3-7 Resumen de parámetros de diseño geométrico.....	3-9
Cuadro 3-8 Descripción del proyecto.....	3-10
Cuadro 3-9. Puentes en la opción de alineamiento A.....	3-10
Cuadro 3-10. Puentes en la opción de alineamiento B.....	3-11
Cuadro 3-11. Puentes en la opción de alineamiento C.....	3-11
Cuadro 3-12. Matriz para Amenaza a inundación.....	3-19
Cuadro 3-13. Matriz para Amenaza a alud torrencial.....	3-20
Cuadro 4-1 Resumen de valores residuales al final del periodo de análisis, Radial Sarchí.	4-3
Cuadro 4-2 Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE).....	4-4
Cuadro 4-3 Valor Actual Neto Económico (VANE).....	4-4
Cuadro 4-4 Variables a Sensibilizar y Rangos de Varación.....	4-5
Cuadro 5-1. Alineamiento Vertical de Opción B.....	5-2
Cuadro 5-2. Alineamiento Horizontal de Opción B.....	5-3
Cuadro 5-3. Puentes en la opción de alineamiento B.....	5-4
Cuadro 5-4. Espesores de la estructura de pavimento semirrígido para las tres secciones	5-5

Índice de Figuras

Figura 1-1. Secciones de la Radial a Sarchí Norte.....	1-2
Figura 2-1. Red Situación Actual.....	2-4
Figura 2-2. Alineamiento Horizontal Opción A.....	2-6
Figura 2-3. Alineamiento Horizontal Opción B.....	2-7
Figura 2-4. Alineamiento Horizontal Opción C.....	2-8
Figura 2-5. Área de influencia de la Radia a Sarchí.....	2-15
Figura 2-6. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación SIN Proyecto Radial Sarchí (Año 2017).....	2-16
Figura 2-7. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación CON Proyecto Radial Sarchí (Año 2017).....	2-16
Figura 3-1. Ubicación de los aforos vehiculares.....	3-2
Figura 3-2. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación SIN Proyecto Radial Sarchí.....	3-4
Figura 3-3. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación CON Proyecto Radial Sarchí.....	3-4
Figura 3-4. Sección Transversal de la carretera con corte y relleno.....	3-9
Figura 3-5. Sección Transversal de la carretera con corte a ambos lados.....	3-9
Figura 3-6. Sección Transversal de la carretera con relleno a ambos lados.....	3-9
Figura 3-7. Sección transversal de la cuneta de corte.....	3-12
Figura 3-8. Sección transversal de las contracunetas.....	3-12
Figura 3-9. Mapa de susceptibilidad a deslizamiento del área de estudio.....	3-18
Figura 3-10. Peligros combinados del volcán Poás.....	3-21
Figura 3-11. Relación entre fallas y sismicidad obtenida de la Red Sismológica Nacional (RSN UCR-ICE), período 1987-2004. $M \geq 2.3$ profundidad ≤ 20 km, errores en la horizontal y vertical ≤ 10 km.....	3-22
Figura 3-12. Mapa tectónico de la parte central occidental de Costa Rica con la ubicación de los sismos de magnitud $M_w \geq 6.0$ desde 1800: locales o someros (0-25 km) como círculos rojos; profundos (> 25 km) como círculos verdes.....	3-23
Figura 5-1. Alineamiento Horizontal de Opción B.....	5-1
Figura 5-2. Alineamiento Vertical de Opción B.....	5-2

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) contrató al consorcio GECCSA-Camacho y Mora S.A. para el desarrollo del proyecto "Contratación de servicios profesionales para la elaboración del estudio de factibilidad para la construcción de la radial entre la Ruta Nacional No. 1 y Sarchí Norte (Ruta Nacional No. 118)", por medio de la contratación directa N° 2015LA-000070-0GCTT.

El proyecto consiste en la realización de los estudios de factibilidad técnica, económica y ambiental para la construcción de la radial entre la Ruta Nacional 1 (Carretera Bernardo Soto) y Sarchí Norte, que estaría conformada por tres secciones, de las cuales dos son existentes y requerirán un mejoramiento y la tercera sería un alineamiento nuevo para la cual inicialmente se manejan tres alternativas de trazo. La radial toma en cuenta el intercambio de la Ruta Nacional No. 1 con calle el Llano, el cual se construiría como parte del proyecto de la futura ampliación de la RN1.

La sección 1 corresponde al tramo de la calle cantonal El Llano y la Ruta Nacional 715, comprendido entre el intercambio de la RN.1 con calle El Llano y el paso a desnivel de la RN 715 bajo la RN.1. Esta sección tendría una longitud de 0,46km, e implicaría una mejora en la superficie de ruedo, la construcción de drenajes menores y la ampliación del paso a desnivel.

La sección 2 sería un alineamiento nuevo, entre la sección 1 y la sección 3. Para la definición del alineamiento a lo largo de este proyecto se definieron tres alternativas (A, B y C), de las cuales según los análisis realizados la alternativa B sería la más rentable. La alternativa B tendría una longitud de 2,69km e implicaría la construcción de 3 puentes.

La sección 3, tendría una longitud de 0.94km ubicada en la Calle San Rafael entre el Abastecedor San Rafael y la Ruta Nacional 118.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de las diferentes secciones definidas para la radial a Sarchí Norte.

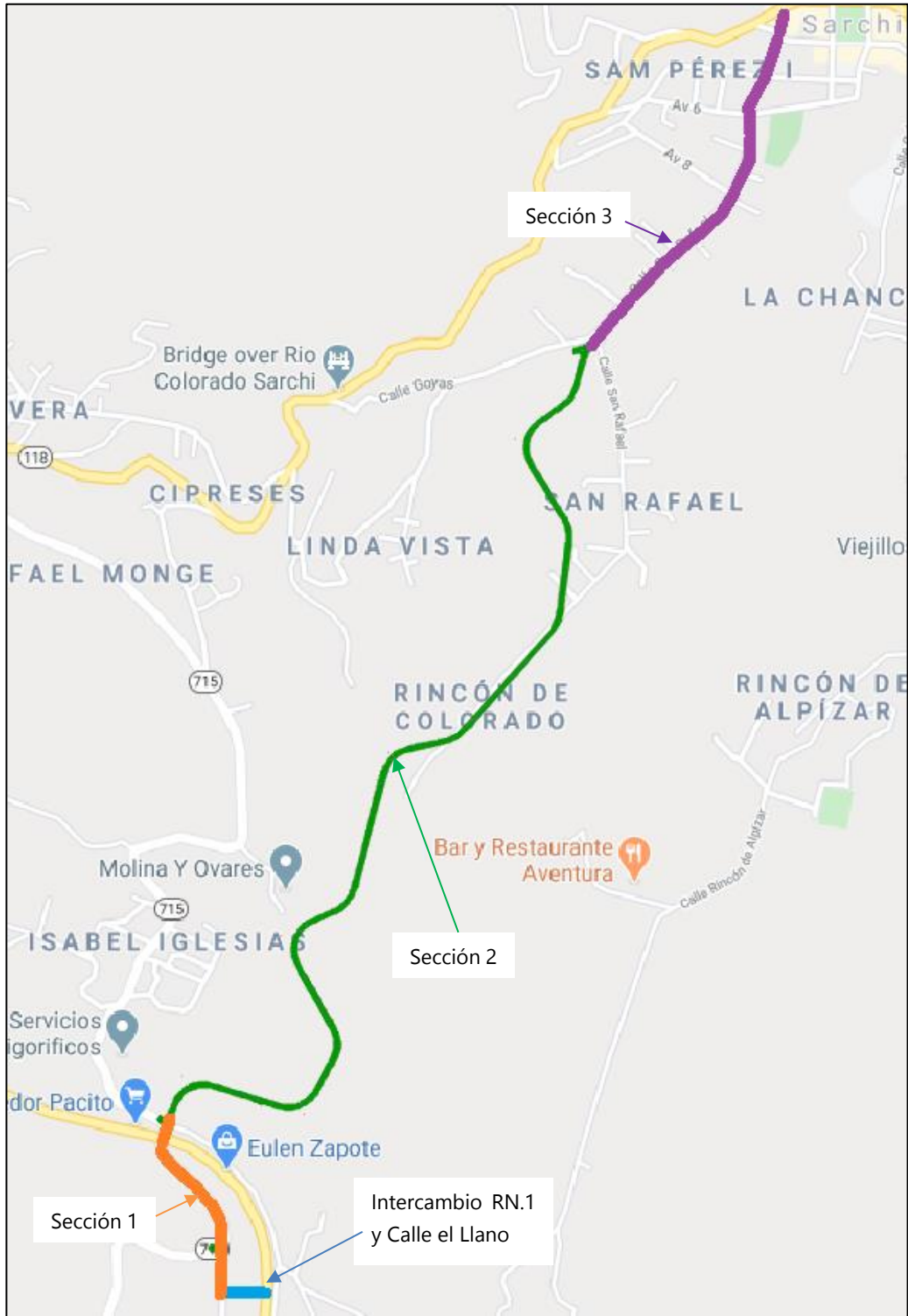


Figura 1-1. Secciones de la Radial a Sarchí Norte.

1.2 Alcance

El presente informe corresponde a la recopilación en forma de resumen de todos los trabajos realizados durante la ejecución del proyecto y que han sido entregados a la Administración en los informes de avance 1, 2 y 3.

1.3 Limitaciones

Los trabajos desarrollados como parte de este informe están limitados a lo indicado en el capítulo II Términos de referencia técnicos del cartel de la licitación abreviada No. 2015LA-000070-0GCTT.

2. Identificación del Proyecto

2.1 Generalidades

- *Nombre del proyecto:*

Construcción de Radial entre la Ruta Nacional No.1 y Sarchí Norte (Ruta Nacional No. 118)

- Objeto del proyecto

El proyecto corresponde a una nueva carretera, que busca una conexión expedita entre la Ruta Nacional No. 1 (Carretera Bernardo Soto) y el cantón de Sarchí, junto con obras de mejoramiento en vías existentes.

- Localización geográfica del proyecto

Región Central, Provincia de Alajuela, Cantones de Naranjo y Sarchí, distritos El Rosario, San Miguel, Naranjo y Sarchí Norte.

- Institución responsable del proyecto

Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

2.2 Antecedentes

Los problemas de accesibilidad que presenta la población de Sarchí Norte son básicamente los mayores costos de operación vehicular y tiempo de viaje, como a los efectos negativos que esto genera sobre la actividad productiva y en el acceso a centros de educación, salud y otros servicios públicos.

Al resolver esta situación negativa, la localidad en cuestión se beneficiará, tomando en cuenta las personas con discapacidad temporal o permanente, los adultos mayores, niños y adolescentes y aspectos de género.

En el caso específico de los caminos y carreteras, el Estado debe propiciar las condiciones para la construcción y conservación de la red vial. Esto implica estudiar y planificar la mejor solución factible, lo cual no significa que debe ser el Estado quien financie, ejecute y opere la infraestructura vial desarrollada.

2.3 Identificación del problema

Este primer paso en el proceso de preparación de un proyecto puede ser considerado estratégico, ya que la correcta definición del problema permitirá identificar las causas, y las formas de combatirlas, que son las alternativas del proyecto.

Para estos efectos se describe a continuación el método del Árbol de Problemas, o Árbol de Decisiones, que ayuda en el análisis de los problemas y elementos sobre cómo abordar la participación.

a) Definición del problema central

Deficiente conectividad vial en el área de Sarchí Norte hacia el resto de la región central del país y viceversa.

b) Efectos del problema

La deficiente conectividad vial en el área de Sarchí Norte, genera más gastos de operación de los vehículos, mayores emisiones de contaminantes y los tiempos de recorrido serán más prolongados. Así mismo, aumenta el riesgo por accidentes vehiculares de quienes se movilizan desde y hacia Sarchí Norte, pues deben transitar por la RN. 118 y RN.154, las cuales tienen tasas de accidentes por cada millón de vehículos-kilómetros superiores a 0.65.

c) Causas

No existe comunicación directa entre la Ruta Nacional No. 1 y Sarchí Norte, por lo que se debe transitar por otros poblados como Grecia y Naranjo, las cuales tienen zonas urbanas congestionadas.

Debido a la topografía e hidrografía de la región, los caminos existentes para llegar a Sarchí Norte cuentan con un trazo con muchas curvas, radios de giro pequeños y carriles angostos.

d) Árbol del problema (de causas y efectos)

Problema: Deficiente conectividad vial en el área de Sarchí Norte.

Efectos: Más gastos de operación de los vehículos y el incremento en los tiempos de recorrido.

Causas: Deficiente trazo de las carreteras actuales con muchas curvas y la existencia de carriles angostos.

e) Árbol de objetivos

Una vez que se ha construido el árbol del problema es posible elaborar el árbol de objetivos, para ello se cambiarán todas las condiciones negativas del árbol de problemas a condiciones positivas que se estime que son deseadas y viables de ser alcanzadas.

Al hacer esto, todas las que eran causas en el árbol de problemas se transforman en medios y los que eran efectos se transforman en fines y lo que era el problema central se convierte en el objetivo central o propósito del proyecto.

Objetivo Central: Mejorar la conectividad vial en el área de Sarchí Norte.

Fin: Reducir los gastos de operación de los vehículos y los tiempos de viaje.

Medio: Comunicar directamente Sarchí Norte con la Ruta Nacional No.1 con una carretera que cuente con un trazo adecuado.

2.4 Situación base

En esta sección se describe la situación actual de la carretera y la situación sin proyecto que se adoptará para la evaluación.

La situación sin proyecto corresponde a la situación actual optimizada, la cual se determina ejecutando obras de inversión menores o medidas de gestión, factibles y rentables, que mejoran las condiciones de operación de la carretera.

Además, se incorporarán todas aquellas mejoras que se ejecutarán durante el horizonte de evaluación y cuya realización es independiente del proyecto analizado.

Para fines de evaluar la movilidad en la zona de estudio se propuso la siguiente red de análisis actual:

- Ruta Nacional No. 1, sección Intersección a Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Río Colorado-Intersección a Naranjo (Ruta Nacional No. 141).
- Ruta Nacional No. 154, sección Ruta Nacional No. 1-La Argentina-Grecia.
- Ruta Nacional No. 118. sección Grecia-Sarchí Norte-Naranjo (Ruta Nacional No. 118).
- Ruta Nacional No. 141, sección Ruta Nacional No. 1-Naranjo (Ruta Nacional No. 118).
- Ruta Nacional No. 715, sección Calle El Llano-Dulce Nombre (Ruta Nacional No. 118).

- Calles cantonales: El Llano (Ruta Nacional No. 1-Ruta Nacional No. 715), Rafael Monge (Ruta Nacional No. 715-Ruta Nacional No. 118), San Rafael y Bajo Zapote (Ruta Nacional No. 141-Ruta Nacional No. 118).

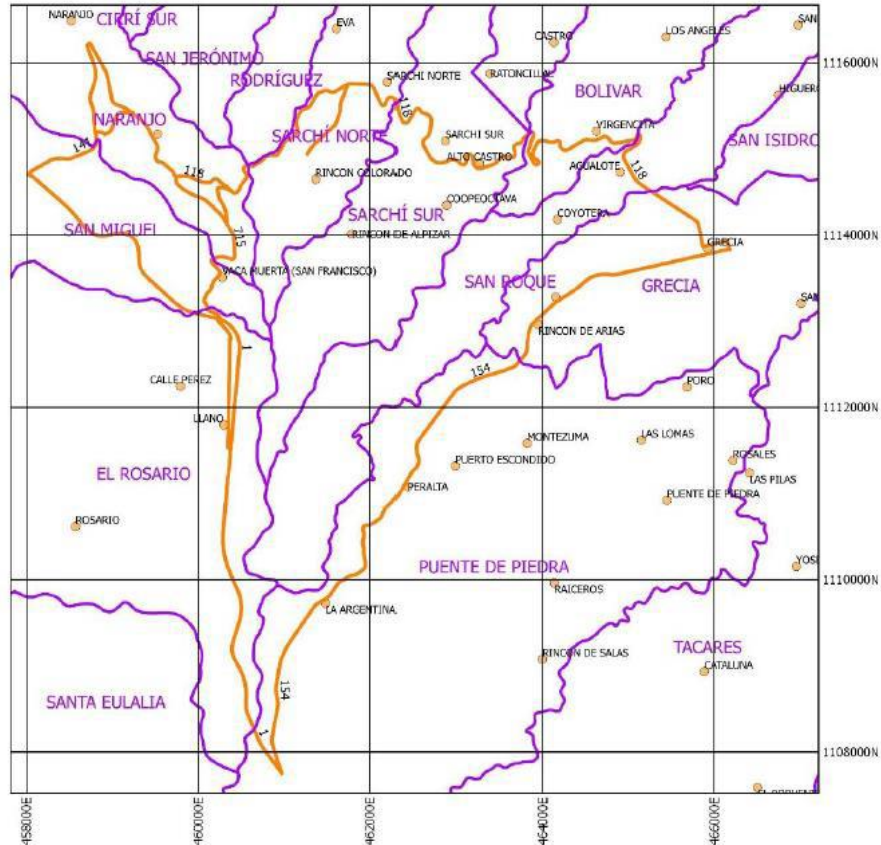


Figura 2-1. Red Situación Actual.

Fuente: Cartel de Licitación No.2015LA-000070-OGCTT,2015.

La optimización de la situación actual consistirá en la realización de los mantenimientos rutinarios y periódicos que se acostumbran en Costa Rica, esto con el fin de mantener en buen funcionamiento la red vial en estudio. Además, esta optimización considera la futura ampliación a cuatro carriles de la Ruta Nacional No.1 y la construcción del intercambio con calle El Llano, los cuales son obras que pertenecen al Proyecto San José-San Ramón.

2.5 Alternativas de solución

El punto de partida para formular las alternativas que solucionen el problema identificado es utilizar como herramienta el Árbol de Objetivos (Medios y Fines), con el fin de buscar una acción que lo concrete efectivamente en la práctica.

a) Identificación de acciones

Con el mejoramiento de las Secciones 1 y 3 y la construcción de la Sección 2, se obtendrá una ruta directa entre la Ruta Nacional No. 1 y la región de Sarchí Norte, lo que mejorará los tiempos de recorrido y el ahorro en los costos de operación de los vehículos, además se disminuirán las emisiones de contaminantes ya que los vehículos no tendrán que circular por poblaciones intermedias (Grecia, Naranjo, y varios distritos).

b) Postulación de alternativas de solución

Luego de formular las respectivas acciones para la solución del problema, se configuraron alternativas viables y pertinentes. Para ello fue necesario el examen de las acciones propuestas en varios aspectos.

La solución tiene en cuenta los siguientes parámetros geométricos:

Velocidad de diseño	50km/h
Sobreelevación	8%
Radio de curva horizontal	73m
Distancia de visibilidad	65m
Parámetro K para curvas convexas	7
Parámetro K para curvas cóncavas	13
Ancho de carril	3.6m
Ancho de espaldón	1.2m
Bombeo	2%
Pendiente longitudinal máxima	9%
Uso de espirales	Sí

Para el presente proyecto se plantea para la construcción de la Sección 2, 3 opciones, las cuales varían en la dirección del trazo, incluyendo las variantes del número de curvas horizontales, curvas verticales y número de estructuras (puentes).

- **Opción de trazo A.**

Esta opción cuenta con una longitud total de 2,67 km, y sería necesaria la construcción de las siguientes obras importantes de drenaje; en el kilómetro 0+480 será necesaria una estructura mayor con una longitud aproximada de 50 metros, para cruzar la quebrada Barquero; en el kilómetro 1+070 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 186 metros de largo, para cruzar el río Colorado; en el kilómetro 2+655 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 50 metros de largo,

para cruzar la quebrada Rincón Colorado. Aproximadamente para esta Opción "A" se requieren 3432m² de estructuras importantes.

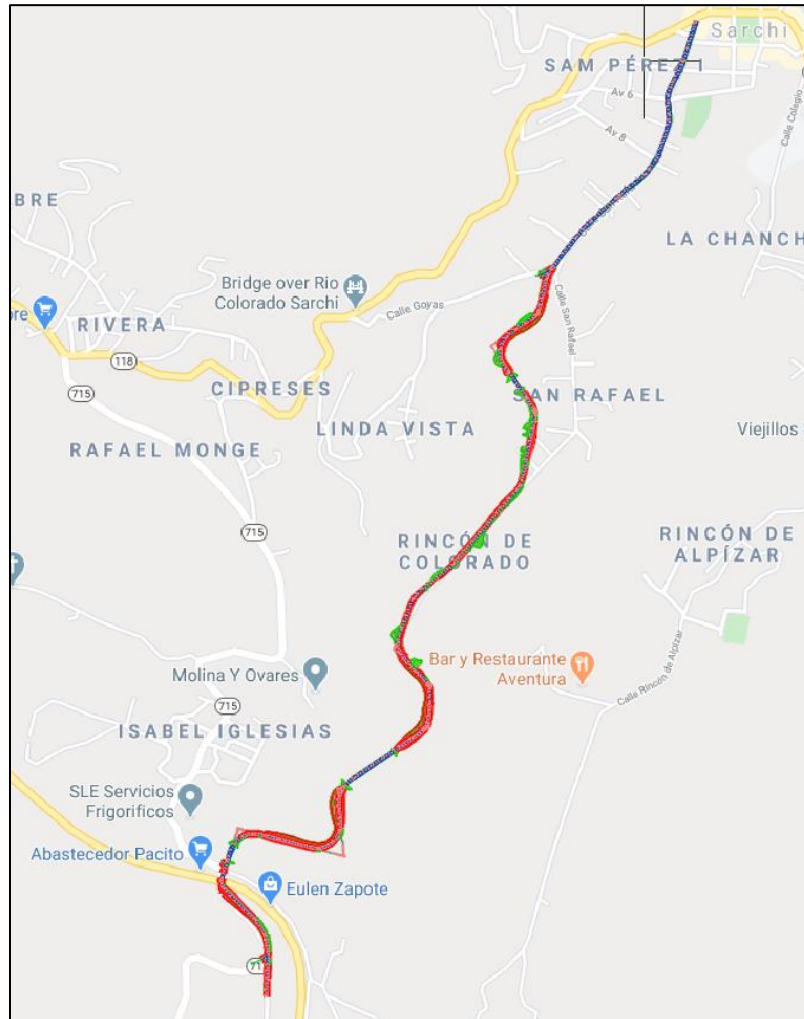


Figura 2-2. Alineamiento Horizontal Opción A.

Fuente: Camacho y Mora S.A.

- **Opción de trazo B.**

La Sección No. 2 en su opción B, cuenta con una longitud total de 2,69 km, y será necesario la construcción de las siguientes obras importantes de drenaje; en el kilómetro 0+480 será necesaria una estructura mayor con una longitud aproximada de 50 metros para cruzar el cauce de la quebrada Barquero, en el kilómetro 1+215 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 70 metros de largo, para cruzar el Río Pilas, aproximadamente en el kilómetro 1+340 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 85 metros de largo, para salvar el cañón del Río Colorado,

aproximadamente, en el kilómetro 2+680 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 50 metros de largo, para cruzar la quebrada Rincón Colorado. Aproximadamente para esta Opción "B" se requieren 3060 m² de estructuras importantes.

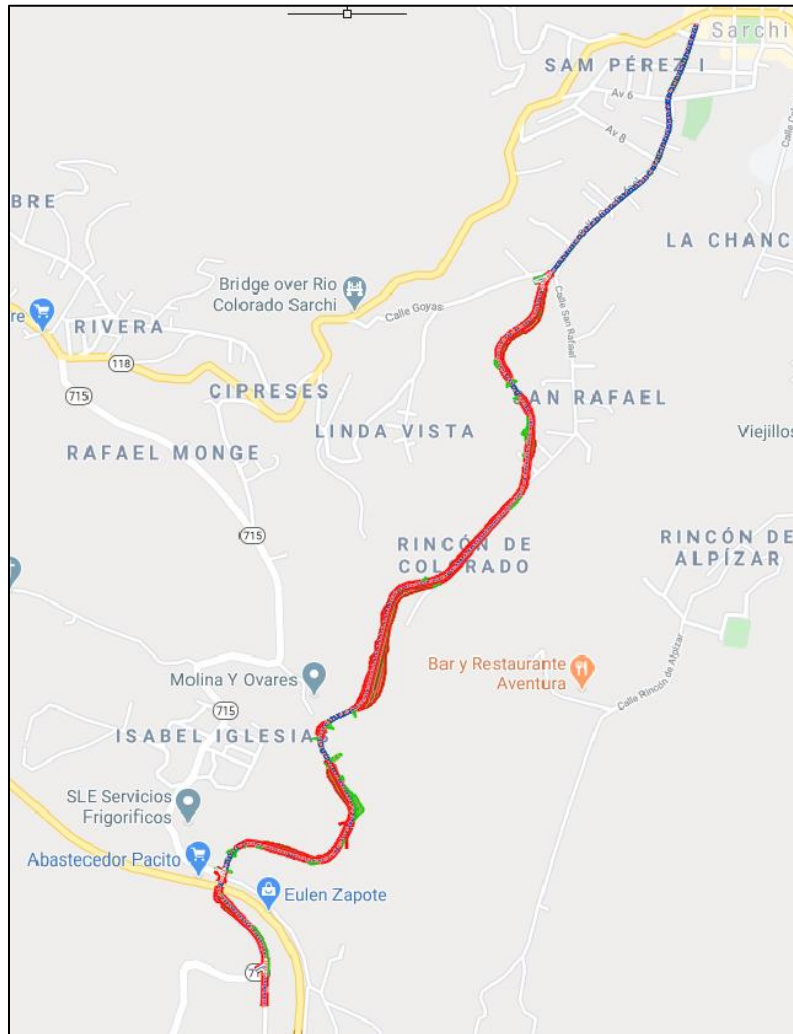


Figura 2-3. Alineamiento Horizontal Opción B.

Fuente: Camacho y Mora S.A.

Opción de trazo C.

La Sección No. 2 en su opción C, cuenta con una longitud total de 2,67 km, y sería necesario la construcción de las siguientes obras importantes; en el kilómetro 0+480 será necesaria una estructura mayor con una longitud aproximada de 50 metros para cruzar la quebrada Barquero, en el kilómetro 1+265 será necesaria una estructura mayor

2. Identificación del Proyecto

de aproximadamente de 171 metros de largo, para salvar el cañón del Río Pilas, en el kilómetro 1+900 será necesaria una estructura mayor de aproximadamente de 190 metros de largo, para salvar el cañón del Río Colorado, en el kilómetro 2+530 será necesaria una alcantarilla de 8,40m para cruzar la quebrada Rincón Colodado. Aproximadamente para esta Opción "C" se requieren 5032,8 m² de estructuras importantes.

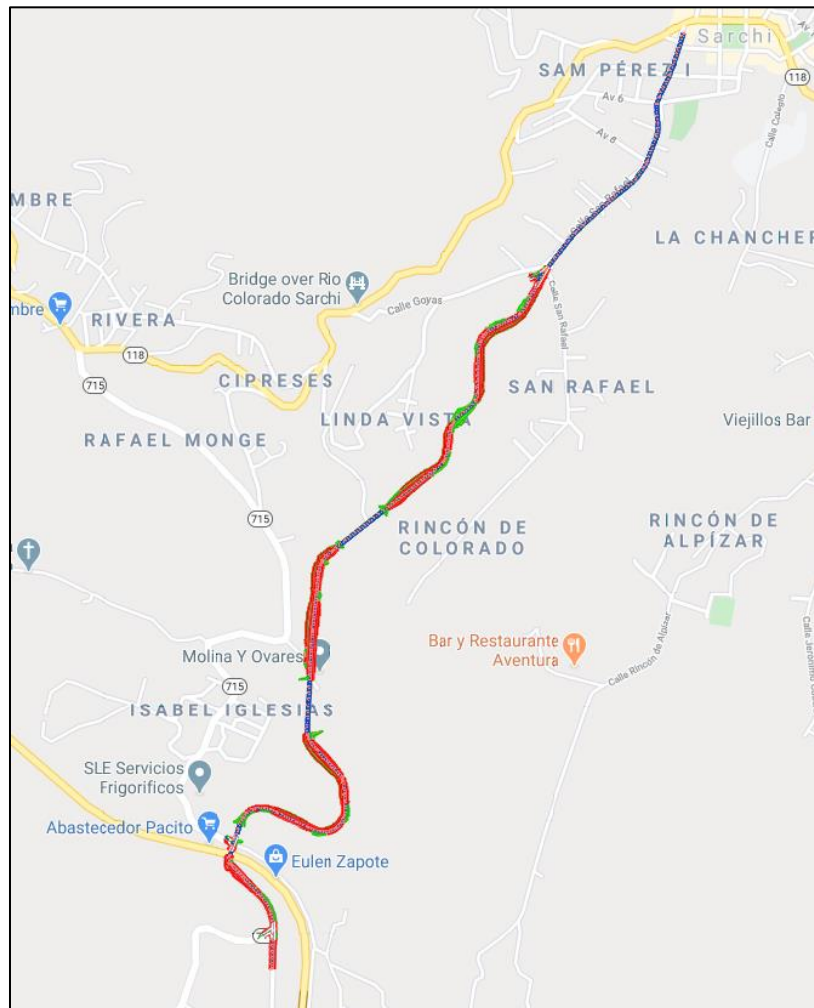


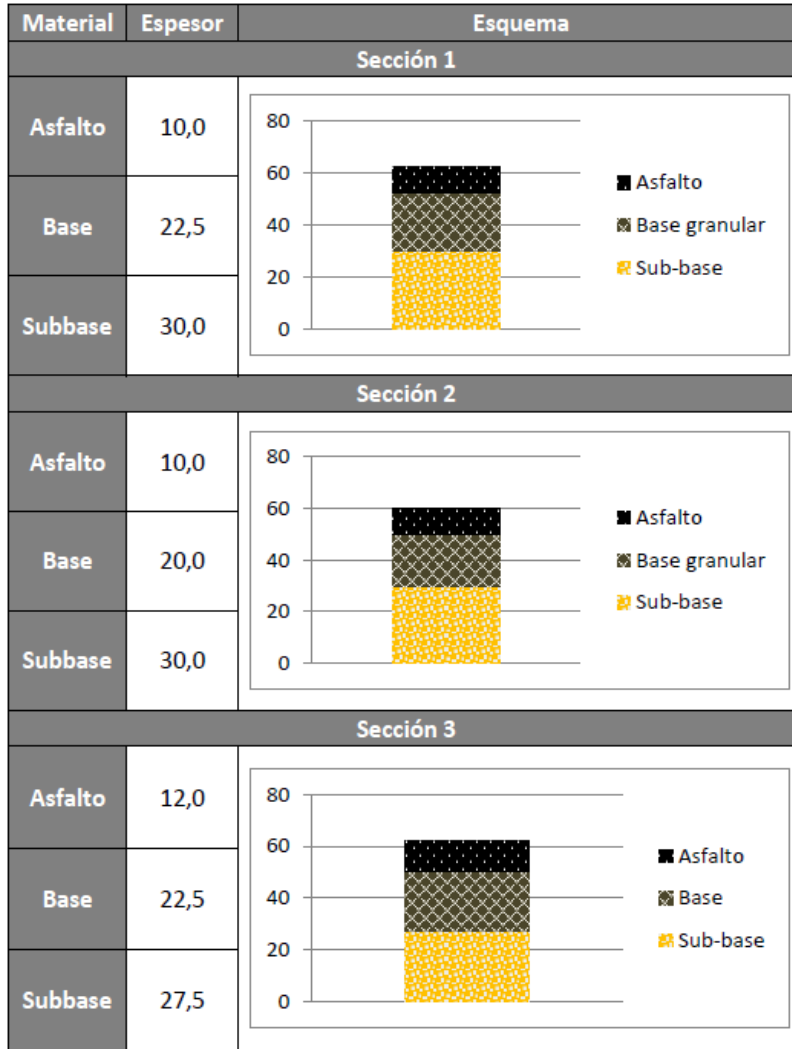
Figura 2-4. Alineamiento Horizontal Opción C.

Fuente: Camacho y Mora S.A.

Así mismo, para cada una de las secciones se consideraron 3 opciones pavimento, pavimento flexible (base y subbase granular, y carpeta asfáltica), pavimento rígido (base granular, y carpeta de concreto) y pavimento semirígido (base estabilizada con cemento, subbase granular y carpeta asfáltica).

A continuación, se resumen las estructuras de pavimento consideradas.

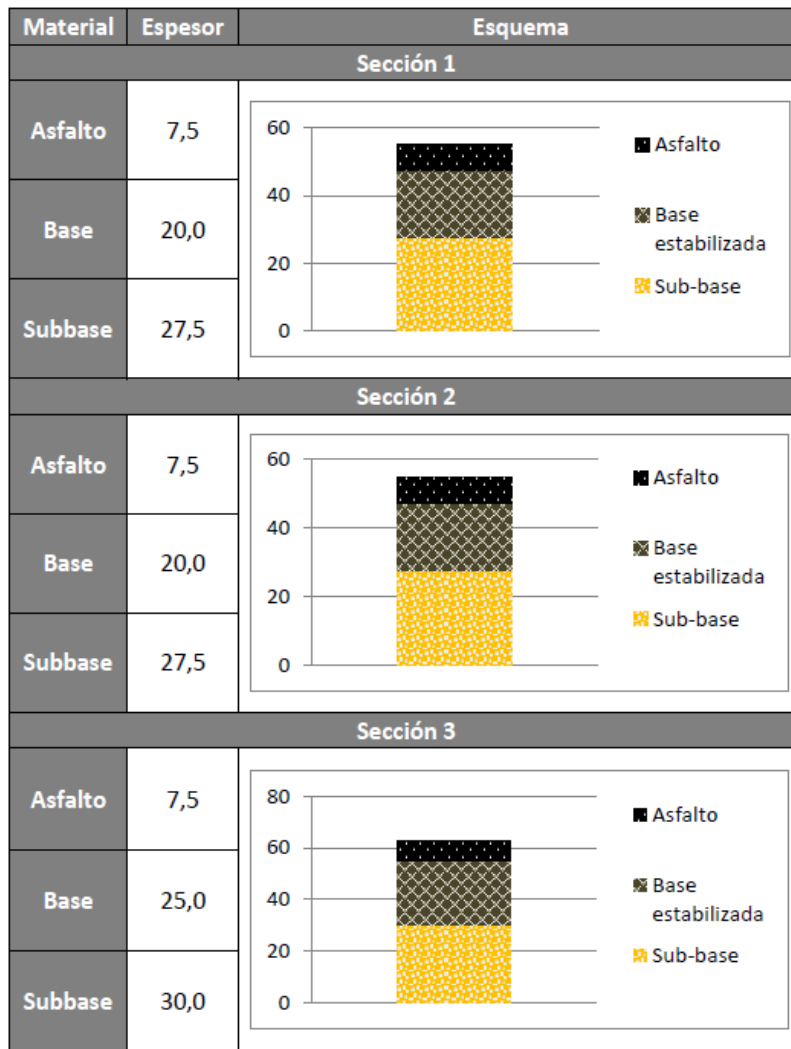
Pavimento Flexible



Pavimento Rígido

Material	Espesor	Esquema
Sección 1		
Concreto	26,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	
Sección 2		
Concreto	26,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	
Sección 3		
Concreto	28,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	

Pavimento Semirígido



2.6 Selección de la alternativa de solución

Considerando que los principales pares Origen-Destino que beneficiaría la construcción de la Radial Sarchí son:

- Manolos-Sarchí Norte
- Manolos-Sarchí Sur
- Manolos-San Pedro de Valverde de Vega
- Manolos-Los Ángeles de Bolívar
- Manolos-San Roque de Grecia
- Manolos-San Juan de Rodríguez

2. Identificación del Proyecto

- Manolos-San Jerónimo de Naranjo
- San Ramón-Sarchí Norte
- San Ramón-Grecia

Los usuarios tendrían un ahorro de tiempo de viaje promedio para cada periodo del día (mañana, valle, tarde) según se muestra en el siguiente cuadro:

Par Origen-Destino	Tiempo de Viaje Ahorrado*		
	MAÑANA	VALLE	TARDE
Manolos-Sarchí Norte	00:02:58	00:03:07	00:03:00
Manolos-Sarchí Sur	00:01:55	00:01:43	00:01:31
Manolos-San Pedro de Valverde de Vega	00:04:58	00:04:04	00:04:20
Manolos-Los Ángeles de Bolívar	00:02:43	00:03:58	00:03:47
Manolos-San Roque de Grecia	-	-	-
Manolos-San Juan de Rodríguez	00:02:58	00:03:23	00:03:00
Manolos-San Jerónimo de Naranjo	-	-	-
San Ramón-Sarchí Norte	00:00:11	00:02:00	00:02:59
San Ramón-Grecia	00:00:45	00:01:20	00:02:44

*Diferencia entre el tiempo de viaje mínimo de las rutas alternas existentes y el tiempo de viaje con la implementación de la Radial a Sarchí.

Así mismo, Para cada una de las alternativas se realizó un análisis de capacidad y un análisis de las características de operación.

El análisis de capacidad fue realizado con la metodología del HCM (Highway Capacity Manual) en su edición 2010, aplicando el módulo de Análisis Direccional de Segmentos de Carreteras de Dos Carriles. (Directional Two-Lane Highway Segment Analysis). Se consideró un análisis para carreteras tipo II (tramos de carreteras usados para viajes cortos).

Los datos de entrada para el análisis son:

- Volumen de tránsito en HMD.
- Factor direccional.
- Velocidad de diseño
- Clasificación vehicular
- Longitud del tramo.
- Pendientes longitudinales
- Ancho de carriles y espaldones
- Tipo de terreno, plano,
- Factor de Hora Pico

La capacidad es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo bajo condiciones prevaletientes de la carretera y el tránsito. Dado que se tienen tres secciones en el tramo de proyecto, dos existentes y una sección nueva, se hicieron los análisis de capacidad por cada sección, y de acuerdo con el tipo de terreno en las secciones existentes y las pendientes de proyecto de la nueva sección.

De estos análisis de capacidad se concluyó que para las tres alternativas de trazo, durante el periodo de operación del proyecto se tendría un nivel de servicio "C" en toda la longitud del proyecto, lo cual está dentro de los requerimientos de la Administración para toda la vida útil del proyecto.

El análisis de operación de las alternativas se realizó mediante el módulo de Análisis de Tráfico del Programa IHSDM, de las tres opciones de trazo para la Sección No. 2 del proyecto en estudio, nos aportan siguientes elementos para seleccionar la mejor opción. En el siguiente Cuadro se presenta la información recabada.

Cuadro 2-1. Análisis Comparativo de Opciones.

	CONCEPTO	OPCION A	OPCION B	OPCION C
Inicio de Operación del Proyecto	Velocidad más Baja para camiones (Km/h)	46,3	40,7	44,4
	Velocidad promedio de viaje combinado (Km/h)	63,0	64,6	65,3
	Porcentaje de tiempo transcurrido combinado (%)	21,0	19,0	20,0
	Tiempo de Viaje combinado (min/veh)	2,5	2,4	2,4
	Demoras Totales combinado (min/veh)	0,9	0,8	0,8
Final de 20 años de operación	Velocidad más Baja para camiones (Km/h)	43,3	40,9	40,6
	Velocidad promedio de viaje combinado (Km/h)	60,9	62,4	63,2
	Porcentaje de tiempo transcurrido combinado (%)	48,0	45,0	47,0
	Tiempo de Viaje combinado (min/veh)	2,6	2,5	2,5
	Demoras Totales combinado (min/veh)	1,0	0,9	0,9

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

De acuerdo con el cuadro anterior se observa que la mejor Opción para la Sección No. 2 del presente proyecto es la Opción "C", considerando el aspecto de la operación la mejor opción al tener la mejor velocidad promedio y las menores demoras en promedio.

Como el nivel de capacidad y los datos operacionales obtenidos son muy similares en las tres opciones, todas las alternativas de solución llegaron a ser analizadas en la evaluación económica para tomar la decisión de cual opción implementar, lo cual se presenta en la sección 4 de este informe.

2.7 Determinación del área de influencia

El área de influencia del proyecto está conformada por dos componentes que se describen a continuación:

- i) Área de proyecto: Corresponde al espacio físico en el cual se emplaza la carretera y que será afectado directamente por las obras que su ejecución involucra. Para la radial a Sarchí el área del proyecto está comprendido por El Rosario, San Miguel, Naranjo y Sarchí Norte.
- ii) Área de análisis de impactos: Corresponde al área geográfica que será servida, influida o modificada por la ejecución de un proyecto vial; es decir, corresponde a aquella en la cual se espera que se produzcan los impactos asociados al proyecto, tales como: cambios en la estructura del uso de la tierra, en los precios de los predios, en los costos de producción y en la modalidad de transporte utilizada.
Para la radial Sarchí el área de impactos está comprendida por los siguientes cantones de Sarchí, Grecia y Naranjo

-
- Grecia
- San Isidro
- San Roque
- Tacaes
- Puente de Piedra
- Naranjo
- San Miguel
- Cirrí Sur
- San Jerónimo
- San Juan
- Rosario
- Sarchí Norte
- Sarchí Sur
- Rodríguez

- San Pedro
- Toro Amarillo

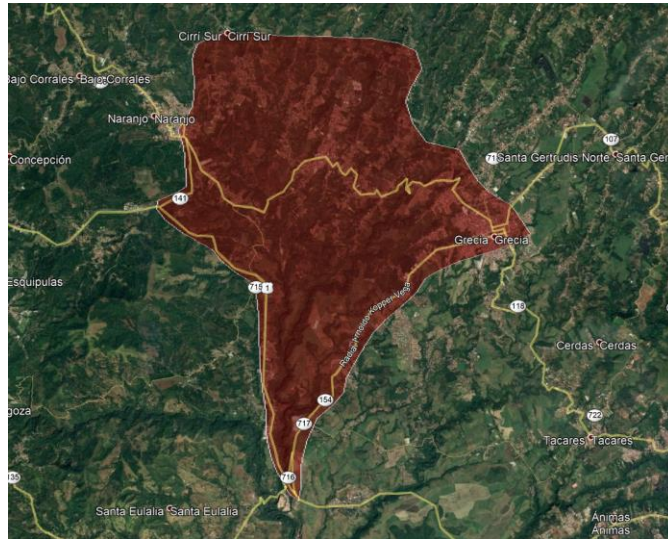


Figura 2-5. Área de influencia de la Radia a Sarchí.

Fuente: Google Earth modificado por Camacho y Mora S.A, 2017.

2.8 Beneficiarios del proyecto

En los proyectos de infraestructura vial los beneficiarios directos son aquellos usuarios de transporte que utilizarán la infraestructura desarrollada o mejorada por el proyecto.

En el caso de los tramos que servirán de Radial Sarchí, dividida en tres secciones (I, II y III) donde se determinaron los volúmenes de tránsito que circularán por estas con la implementación del proyecto para el periodo de análisis.

	Transito Total (Vehículos)
Sección 1	2944
Sección 2	0
Sección 3	2264
Rafael Monge	2212
RN1 (Intersección Grecia-Sección 1)	25417
RN1 (Sección 1-Int Naranjo)	25417
RN118 (Grecia-Sarchí Norte)	13314
RN118 (Sarchí Norte-Calle Rafael Monge)	9649
RN 118 (Calle Rafael Monge-RN715)	8061
RN118 (RN715-Naranjo)	9708
RN141 (RN1-Naranjo)	14116
RN154 (Int. Grecia-Grecia)	13455

2. Identificación del Proyecto

	Transito Total (Vehículos)
RN715 (Sección1-Calle Rafael Monge)	2944
RN715 (Rafael Monge-RN118)	732

Figura 2-6. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación SIN Proyecto Radial Sarchí (Año 2017).

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

	Transito Total (Vehículos)
Sección 1	5400
Sección 2	3547
Sección 3	5811
Rafael Monge	1111
RN1 (Intersección Grecia-Sección 1)	25653
RN1 (Sección 1-Int Naranjo)	26826
RN118 (Grecia-Sarchí Norte)	13078
RN118 (Sarchí Norte-Calle Rafael Monge)	6883
RN 118 (Calle Rafael Monge-RN715)	6397
RN118 (RN715-Naranjo)	8043
RN141 (RN1-Naranjo)	12451
RN154 (Int. Grecia-Grecia)	12800
RN715 (Sección1-Calle Rafael Monge)	1843
RN715 (Rafael Monge-RN118)	732

Figura 2-7. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación CON Proyecto Radial Sarchí (Año 2017).

Fuente: Google Camacho y Mora S.A, 2018

3. Formulación del Proyecto

3.1 Análisis de mercado

3.1.1 *Estimación de la demanda vehicular actual y proyecta*

La demanda de una carretera se determina a través de conteos vehiculares. Para propósitos de planificación, generalmente se usa el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

ESTACIONES DE AFOROS AUTOMATICOS

Para determinar la demanda en la zona de estudio se presentaron 4 sitios de aforo automático donde se realizó la recopilación de datos por tipo de vehículo para lo cual se tomó como referencia la longitud promedio de los diferentes vehículos, según los datos indicados en fuentes como la Federal Highway Administration, la Universidad ICESI en Cali, Colombia, del Instituto Mexicano del Transporte, del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Dirección General de Tráfico en España y de la Agencia Nacional de Tránsito de Ecuador.

Con respecto a la ubicación de los contadores vehiculares (Figura 11), estos se colocaron en los siguientes puntos:

- ID.1: Ruta Nacional No.118 (Frente a la plaza de Dulce Nombre)
- ID.2: Ruta Nacional No.154 (Frente a la Plaza de Rincón de Arias)
- ID.3: Calle San Rafael (Al Sur de Avenida 6 en Sarchí Norte)
- ID.4: Ruta Nacional No.715 (Alrededores de la Quebrada Barquero)



Figura 3-1. Ubicación de los aforos vehiculares.

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

Los resultados de TPDA obtenidos para los cuatro puntos de interés se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 3-1. Demanda actual por tramo

Tramo	TPDA	Livianos %	Carga Liviana %	Bus%	Camión de 2 Ejes %	Camión de 3 ejes %	Camión de 4 ejes %	Camión de 5 ejes %
Ruta Nacional No.118	9708	66.67	25.96	1.75	4.74	0	0.18	0.7
Ruta Nacional No. 154	13456	72.73	18.32	2.01	5.48	0.13	0.8	0.53
Calle San Rafael	1880	92.37	6.87	0	0.76	0	0	0
Ruta Nacional No. 715	2944	60	33.91	3.48	2.61	0	0	0

Fuente: Camacho y Mora S.A., 2018

ENCUESTA ORIGEN-DESTINO

Las encuestas de Origen-Destino se realizaron en los siguientes tres puntos de la red de estudio:

- Ruta Nacional No. 154 (Frente a la Plaza de Rincón de Arias)
- Ruta Nacional No. 118 (Frente a la Plaza de Dulce Nombre)
- Ruta 715: (Cerca de la Intersección con la Calle el Llano)

Estos puntos coinciden con la ubicación de los aforos ID.2, ID 1 e ID.4 respectivamente. Con base en las encuestas se procedió a construir una matriz Origen-Destino para cada uno de los puntos de sondeo. Como estos datos corresponden a una muestra del tráfico que circula por cada uno de los puntos, se calculó el porcentaje de vehículos que se moviliza entre cada origen y destino y posteriormente a partir del TPD estimado para cada uno de los puntos sondeados, se estimó el volumen vehicular diario entre cada par origen-destino

Con los resultados obtenidos en campo y mediante el uso de los factores de expansión (mensual), obtenido de la estación permanente San Juanillo, del Anuario de Tránsito de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, 2015, se integraron las matrices origen-destino, de cada uno de los puntos estudiados.

Para el análisis se redefinieron los pares origen destino; la definición de los volúmenes vehiculares generados en cada par se basó en las matrices construidas a partir de la información recopilada en cada una de las estaciones de encuesta. Los viajes se agruparon de acuerdo con el punto de ingreso a la red de análisis con los puntos de origen y destino utilizados para este análisis, con el fin de limitar la red de análisis a la zona de influencia del proyecto. Los puntos considerados para el análisis son los siguientes:

Una vez obtenidas las matrices se procedió a hacer la expansión con el TDPA de cada una de los puntos considerandos en el estudio.

A partir de la información de la matriz general se obtuvieron las líneas de deseo de viajes realizados en la zona de estudio, las cuales se representan de manera esquemática los flujos de tránsito más importantes entre las diversas zonas de la red de análisis.

Finalmente, se procedió a estimar el volumen vehicular por cada una de las rutas analizadas para la condición actual (condición base) y la condición con proyecto en sus opciones A, B y C; esto utilizando las tres matrices origen-destino (RN 154, RN 118 y RN 715) y para los tiempos de viaje de la madrugada, mañana, medio día y tarde. De los resultados de la asignación de viajes se hacen las siguientes observaciones:

- Los tiempos de viaje medidos en campo (vehículos flotantes, donde en general no se experimentaron demoras), la cantidad de vehículos asignados para cada una de las rutas entre un par origen-destino, es igual para los periodos de la madrugada, mañana, medio día y tarde.
- Los costos base son similares para las opciones A, B y C, por lo que la asignación de viajes resultó igual para las tres opciones.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se obtuvieron las siguientes distribuciones de vehículos en las rutas analizadas. Según el análisis de asignación de viajes, en el siguiente cuadro se presenta a manera de resumen la demanda vehicular para cada una de los tramos de interés del estudio.

3. Formulación del Proyecto

SIN PROYECTO (Año 2017)								
	Veh liv	Carg LIV	BUSES	2EJES	3EJES	4EJES	5EJES	TOTAL
SECCION 1	1766	998	102	77	0	0	0	2944
SECCION 2	-	-	-	-	-	-	-	-
SECCION 3	2091	156		17	0	0	0	2264
RAFAEL MONGE	1327	750	77	58	0	0	0	2212
RN1 (Intersección Grecia-Sección1)	15530	3754	1472	2234	923	422	1082	25417
RN1 (Sección 1-Int Naranjo)	15530	3754	1472	2234	923	422	1082	25417
RN118 (Grecia-Sarchí Norte)	9290	2769	506	680	28	0	42	13314
RN118 (Sarchí Norte-Calle Rafael Monge)	6326	2258	197	694	107	38	29	9649
RN118(Rafael Monge-RN715)	5374	2093	141	382	0	15	56	8061
RN118(RN715-Naranjo)	6472	2520	170	460	0	17	68	9708
RN141(RN1-Naranjo)	8959	3031	435	1136	182	97	275	14116
RN154(Int Grecia-Grecia)	9787	2465	270	737	17	108	71	13455
RN715(Sección 1-Rafael Monge)	1766	998	102	77	0	0	0	2944
RN715(Rafael Monge-RN118)	439	248	25	19	0	0	0	732

Figura 3-2. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación SIN Proyecto Radial Sarchí.

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

CON PROYECTO (Año 2017)								
	Veh liv	Carg LIV	BUSES	2EJES	3EJES	4EJES	5EJES	TOTAL
SECCION 1	3280	1735	102	245	2	16	20	5400
SECCION 2	2191	1120		198	2	16	20	3547
SECCION 3	4283	1275		215	2	16	20	5811
RAFAEL MONGE	643	363	77	28	0	0	0	1111
RN1 (Intersección Grecia-Sección1)	15907	3651	1472	2203	922	418	1080	25653
RN1 (Sección 1-Int Naranjo)	16485	4126	1472	2302	923	425	1093	26826
RN118 (Grecia-Sarchí Norte)	8912	2872	506	711	28	4	45	13078
RN118 (Sarchí Norte-Calle Rafael Monge)	4512	1431	197	584	107	35	17	6883
RN118(Rafael Monge-RN715)	4245	1653	141	302	0	11	45	6397
RN118(RN715-Naranjo)	5343	2080	170	380	0	14	56	8043
RN141(RN1-Naranjo)	7830	2591	435	1056	182	94	263	12451
RN154(Int Grecia-Grecia)	9503	2196	270	656	15	96	63	12800
RN715(Sección 1-Rafael Monge)	1082	612	102	47	0	0	0	1843
RN715(Rafael Monge-RN118)	439	248	25	19	0	0	0	732

Figura 3-3. Tránsito asignado en la zonas de interés, situación CON Proyecto Radial Sarchí.

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

TASA DE CRECIMIENTO

Se considera que la demanda vehicular presenta una tendencia de crecimiento del 4,8% anual.

ESTIMACIÓN DE LA OFERTA DE TRANSPORTE

A continuación, se describe la red vial en la zona de interés

I. Longitud:

Cuadro 3-2. Longitudes de tramos viales para las secciones del proyecto

Ruta	Tramo	Longitud (km)
1	Ruta Nacional No. 1 (Intersección Grecia-Calle El Llano)	4,90
	Ruta Nacional No. 1 (Calle El Llano-Intersección Naranjo)	3,65

Ruta	Tramo	Longitud (km)
154	Ruta Nacional No. 154 (Intersección Grecia-Grecia)	8,85
118	Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Sarchí Norte (Cruce con Proyecto)	7,9
	Sarchí Norte (Cruce con proyecto)-Calle Rafael Monge	2,3
	(Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 715)	0,70
	Ruta Nacional No 715-Ruta Nacional 141	2,0
141	Intersección Naranjo (Ruta Nacional No. 1-Ruta Nacional No. 118)	2,15
715	Calle El Llano-Calle Rafael Monge	1,66
	Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 118	0,80
	Calle El Llano	0,81
	Calle San Rafael	1,20
	Calle Rafael Monge	0,58

II. Curvatura Horizontal:

Cuadro 3-3. Curvatura Horizontal de tramos viales para el proyecto

Ruta	Tramo	Curvatura Horizontal (°/Km)
1	Ruta Nacional No. 1 (Intersección Grecia-Calle El Llano)	51,50
	Ruta Nacional No. 1 (Calle El Llano-Intersección Naranjo)	79,22
154	Ruta Nacional No. 154 (Intersección Grecia-Grecia)	99,17
118	Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Sarchí Norte (Cruce con Proyecto)	451,16
	Sarchí Norte (Cruce con proyecto)-Calle Rafael Monge	414,64
	Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 715	303,37
	Ruta Nacional No. 715- Ruta Nacional No.141	131,49
141	Intersección Naranjo (Ruta Nacional No. 1-Ruta Nacional No. 118)	154,37
715	Calle El Llano- Calle Rafael Monge	353,72
	Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 118	35,22
	Calle El Llano	617
	Calle San Rafael	197,43
	Calle Rafael Monge	484,67

III. Características verticales:

Cuadro 3-4. Ascensos y descensos de tramos viales para el proyecto

Ruta	Tramo	Número de ascensos y descensos por Km	Ascensos y Descensos por Km
1	Ruta Nacional No. 1 (Intersección Grecia-Calle El Llano)	3,53	61,62
	Ruta Nacional No. 1 (Calle El Llano-Intersección Naranjo)	4,39	48,44
154	Ruta Nacional No. 154 (Intersección Grecia-Grecia)	2,84	48,44
118	Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Sarchí Norte (Cruce con Proyecto)	6,25	64,82
	Sarchí Norte (Cruce con proyecto)-Calle Rafael Monge	4,79	71,72
	(Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 715)	1,44	73,69
	Ruta Nacional No. 715-Calle Bajo Zapote	4,32	50,17
	Calle Bajo Zapote-Ruta Nacional No.141	4,93	54,43
141	Intersección Naranjo (Ruta Nacional No. 1-Calle Bajo Zapote)	14,00	113,84
	Calle Bajo Zapote-Naranjo	10,13	69,31
715	Calle El Llano-Calle Rafael Monge	4,36	99,55
	Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No.118	3,48	32,47
	Calle El Llano	3,35	36,77
	Calle San Rafael	4,01	51,41
	Calle Rafael Monge	15,32	65,98

IV. Características de la sección transversal de la carretera:

Cuadro 3-5. Características de sección transversal de tramos viales para el proyecto

Ruta	Tramo	Ancho de Calzada (m)	Ancho de Espaldones (m)	Número de Carriles
1	Ruta Nacional No. 1 (Intersección Grecia-Calle El Llano)	11,2*	2,00	2
	Ruta Nacional No. 1 (Calle El Llano-Intersección Naranjo)	10,0*	2,00	2
154	Ruta Nacional No. 154 (Intersección Grecia-Grecia)	7,40	0,60	2
118	Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Sarchí Norte (Cruce con Proyecto)	5,70	-	2
	Sarchí Norte (Cruce con proyecto)-Calle Rafael Monge	5,70	-	2

Ruta	Tramo	Ancho de Calzada (m)	Ancho de Espaldones (m)	Número de Carriles
	(Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 141)	5,70	-	2
141	Intersección Naranjo (Ruta Nacional No. 1-Ruta Nacional No. 118)	6,20	-	2
715	Calle El Llano-Ruta Nacional No. 118	5,50	-	2
	Calle El Llano	5,40	-	2
	Calle San Rafael	5,50	-	2

*Estas secciones tienen carril de ascenso en algunos tramos

V. Características de la superestructura de la carretera:

Cuadro 3-6. Características de Superestructura de tramos viales para el proyecto

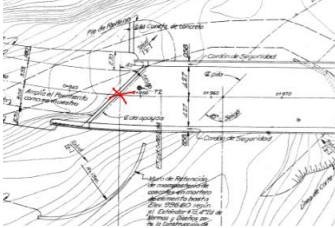
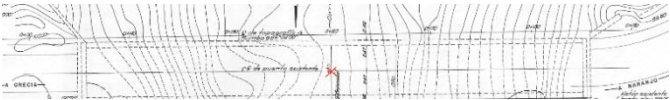
Ruta	Tramo	Tipo de Pavimento	IRI	Agrietamiento Estructural Total (%)
1	Ruta Nacional No. 1 (Intersección Grecia-Calle El Llano)	Asfalto	3,13	0,0
	Ruta Nacional No. 1 (Calle El Llano-Intersección Naranjo)	Asfalto	2,44	0,0
154	Ruta Nacional No. 154 (Intersección Grecia-Grecia)	Asfalto	3,08	0,0
118	Grecia (Ruta Nacional No. 154)-Sarchí Norte (Cruce con Proyecto)	Asfalto	6,98	1,0
	Sarchí Norte (Cruce con proyecto)-Calle Rafael Monge	Asfalto	7,88	1,0
	Calle Rafael Monge-Ruta Nacional No. 715	Asfalto	8,42	1,0
	Ruta Nacional No.715-Ruta Nacional No. 141	Asfalto	9,21	1,0
141	Intersección Naranjo (Ruta Nacional No. 1-Ruta Nacional No. 118)	Asfalto	3,51	1,0
715	Calle El Llano-Calle Rafael Monge	Asfalto	9,30	0,0
	Calle Rafael Monge- Ruta Nacional No.118	Asfalto	9,32	0,0
	Calle El Llano	Asfalto	5,80	0,0
	Calle San Rafael	Asfalto	8,50	1,0

3.2 Análisis técnico

3.2.1 Topografía

Para la formulación del proyecto se utilizó como referencia la cartografía 1:1000 desarrollada por el programa de Regularización de Castro y Registro, la cual se complementó con topografía para los sitios de los puentes sobre el Río Pilas y Colorado.

Para el ajuste de la cartografía con el levantamiento topográfico realizado se tomó como referencia, por indicación de la Administración, el BN 233, así como los siguientes puntos en el puente sobre el río Pilas en la RN 141 y el puente sobre el río Colorado en la RN 118.

Ubicación	Coordenada	Imagen
Puente Río Pilas RN 141	X: 458815.91 Y: 1115116.34 Z: 945.44	
Puente Río Colorado RN 118	X: 460580. 5 Y: 1114797.59 Z: 874.15	

3.2.2 Diseño Geométrico

Como ya se ha mencionado el proyecto se divide en tres secciones (Ver Figura 1-1). Para la sección 1 y sección 3 se considera mantener el alineamiento geométrico y para la sección 2 se plantea un trazo nuevo para el cual se analizaron 3 opciones.

Para el diseño geométrico del proyecto se utilizaron los siguientes parámetros definidos según los requerimientos de la Administración y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales del SIECA

Cuadro 3-7 Resumen de parámetros de diseño geométrico.

Velocidad de diseño	50km/h
Sobreelevación	8%
Radio de curva horizontal	73m
Distancia de visibilidad	65m
Parámetro K para curvas convexas	7
Parámetro K para curvas cóncavas	13
Ancho de carril	3.6m
Ancho de espaldón	1.2m
Bombeo	2%
Pendiente longitudinal máxima	9%
Uso de espirales	Sí

Para realizar el diseño geométrico se utilizó una sección transversal compuesta por dos carriles con un ancho de 3,6 m cada uno y dos espaldones de 1,2 m cada uno. Asimismo, se utilizaron elementos como cunetas, contracunetas, y taludes de corte (pendiente 1:1) y de relleno (pendiente 2:1) en las zonas donde fuera requerido.

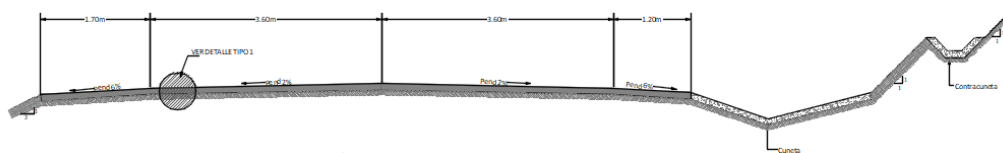


Figura 3-4. Sección Transversal de la carretera con corte y relleno.

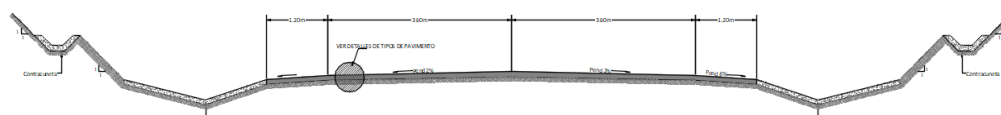


Figura 3-5. Sección Transversal de la carretera con corte a ambos lados.

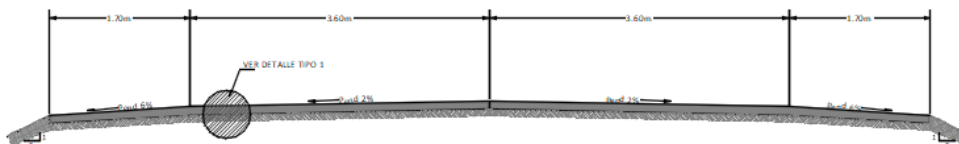


Figura 3-6. Sección Transversal de la carretera con relleno a ambos lados.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del diseño geométrico formulado para la radial a Sarchí

Cuadro 3-8 Descripción del proyecto.

Concepto	Sección 1	Sección 2			Sección 3
		Opción A	Opción B	Opción C	
Longitud (Km)	0,46	2,67	2,69	2,67	0,94
Número de Carriles	2	2	2	2	2
Ancho de Calzada (m)	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Ancho de espolones	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Velocidad de Proyecto (Km/Hr)	50	50	50	50	50

3.2.3 Paso a desnivel, Puentes y estructura de drenaje mayor

En la sección 1 del proyecto se considera la sustitución y ampliación del paso a desnivel en la Ruta Nacional No. 715 bajo la Ruta Nacional No. 1.

En la sección 2, se considera la construcción de puentes o alcantarillas sobre la Quebrada Barquero, Río Pilas, Río Colorado y Quebrada Rincón Colorado. Para cada una de las opciones de la sección 2 la ubicación y longitud de los puentes varía. Cabe destacar que para los puentes se realizó un estudio hidrológico, sin embargo, en ninguno de los casos el nivel del agua para una tormenta con 100 años de periodo de retorno rige para definir su nivel.

En la sección 3, no es requerida ninguna estructura de drenaje mayor.

En los siguientes cuadros se hace un resumen de las estructuras de drenaje mayor formuladas para el proyecto.

Cuadro 3-9. Puentes en la opción de alineamiento A

	Nombre en Planos	No. Tramos	Long total (m)	No. Super	No. Sub	Ancho Total (m)	Peralte de vigas (m)	H Bastión 1 (m)	H Bastión 2 (m)
2	Paso a desnivel RN1	1	13.2	1	2	18	0.85	10.9	10.9
2	Puente Sobre Quebrada Barquero	2	50	2	3	12	1.08/ 1.83	5.0	7.5
3	Puente Sobre el Rio Colorado	5	186	1	6	12	Variable	10	7.6
4	Rincón Colorado	1	50	1	2	12	2	6.5	8.0

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

Cuadro 3-10. Puentes en la opción de alineamiento B

	Nombre en Planos	No. Tramos	Long total (m)	No. Super	No. Sub	Ancho Total (m)	Peralte de vigas (m)	H Bastión 1 (m)	H Bastión 2 (m)
1	Paso a desnivel RN1	1	13.2	1	2	18	0.85	10.9	10.9
2	Puente Sobre Quebrada Barquero	2	50	2	3	12	1.08/ 1.83	5.0	7.5
3	Puente Sobre el Rio Pilas	2	70	2	3	12	1.83	5.5	5.5
4	Puente Sobre el Rio Colorado	3	85	1	4	12	Variabl e	5.5	5.5
5	Rincón Colorado	1	50	1	2	12	2	6.5	8.0

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

Cuadro 3-11. Puentes en la opción de alineamiento C

	Nombre en Planos	No. Tramos	Long total (m)	No. Super	No. Sub	Ancho Total (m)	Peralte de vigas (m)	H Bastión 1 (m)	H Bastión 2 (m)
1	Paso a desnivel RN1	1	13.2	1	2	18	0.85	10.9	10.9
2	Puente Sobre Quebrada Barquero	2	50	2	3	12	1.08/ 1.83	5	7.5
3	Puente Sobre el Rio Pilas	4	171	1	5	12	Variabl e	5	8
4	Puente Sobre el Rio Colorado	4	190	1	5	12	Variabl e	5	11
5	Rincon Colorado	1	8.4	1	2	-	3.2	-	-

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

3.2.4 Estructuras de drenaje menor

Las estructuras de drenaje menor se dividen en drenaje longitudinal y drenaje transversal. Para la estimación de los caudales máximos se trabajó con una intensidad uniforme correspondiente a un período de retorno de 25 años, un tiempo de concentración de 10 minutos y un coeficiente de escorrentía de 0,65.

La geometría de los elementos del drenaje longitudinal toma en cuenta las recomendaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LANAMME-UCR) las cuales se exponen en la Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (2011). De esta manera, se selecciona una geometría de cuneta de corte con taludes 1:4 en pendiente negativa y 1:3 en pendiente positiva. Esta se puede observar en la Figura 3-7. Adicionalmente se define una sección de contracuneta en la Figura 3-8. Es importante mencionar que se consideró solamente un tipo de cuneta y un tipo de contracuneta para todo el trazado de la carretera, para los diferentes alineamientos.

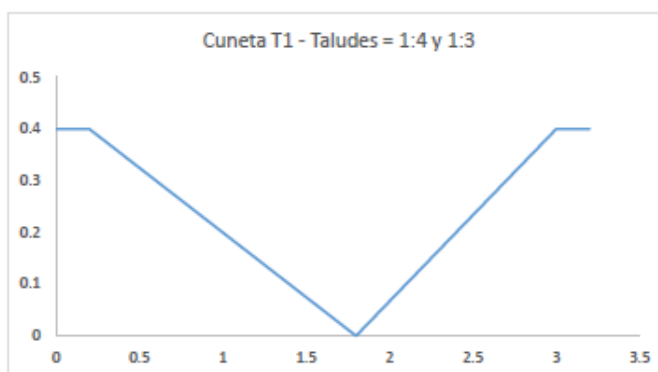


Figura 3-7. Sección transversal de la cuneta de corte.

Fuente: Diseños Hidráulicos de Centroamérica, 2017.

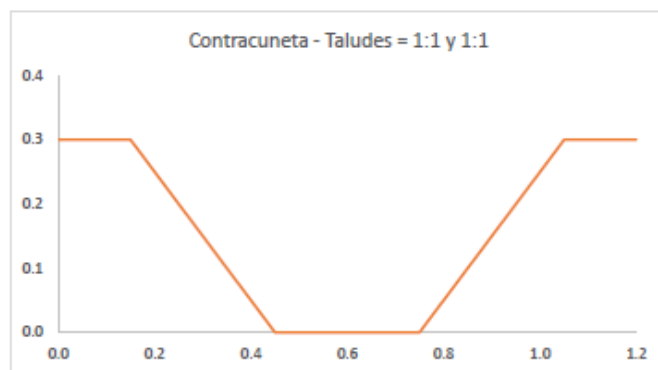


Figura 3-8. Sección transversal de las contracunetas.

Fuente: Diseños Hidráulicos de Centroamérica, 2017.

Como drenaje transversal se consideraron alcantarillas para manejo de las aguas por debajo del camino con el objetivo de encausarlas hacia el punto de desfogue. El diseño de las alcantarillas tomó como consideración que su operación sea bajo una condición de control a la entrada y con la entrada no sumergida

En la sección 1 y 2 se están considerando alcantarillas de 1,0m y 0,9m de diámetro.

En el caso de la sección 3, la cual se encuentra en una zona urbana, al no plantearse modificaciones al alineamiento de la carretera, se considera que los caudales para el drenaje pluvial se mantendrán constantes con la situación base, sin embargo, se plantea una propuesta para mejorar el sistema de drenajes con pozos, tragantes y colectores de 0,90m de diámetro.

3.2.5 Pavimentos

Para el planteamiento del proyecto se analizaron 3 opciones de pavimento, pavimento flexible (base y subbase granular, y carpeta asfáltica), pavimento rígido (base granular, y carpeta de concreto) y pavimento semirígido (base estabilizada con cemento, subbase granular y carpeta asfáltica).

A continuación, se resumen las estructuras de pavimento consideradas.

Pavimento Flexible

Material	Espesor	Esquema
Sección 1		
Asfalto	10,0	
Base	22,5	
Subbase	30,0	
Sección 2		
Asfalto	10,0	
Base	20,0	
Subbase	30,0	
Sección 3		
Asfalto	12,0	
Base	22,5	
Subbase	27,5	

Pavimento Rígido

Material	Espesor	Esquema
Sección 1		
Concreto	26,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	
Sección 2		
Concreto	26,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	
Sección 3		
Concreto	28,0	
Base	15,0	
Subbase	0,0	

Pavimento Semirígido

Material	Espesor	Esquema
Sección 1		
Asfalto	7,5	
Base	20,0	
Subbase	27,5	
Sección 2		
Asfalto	7,5	
Base	20,0	
Subbase	27,5	
Sección 3		
Asfalto	7,5	
Base	25,0	
Subbase	30,0	

3.2.6 Intersecciones a intervenir

En el caso de las intersecciones se desarrollan soluciones de señalamiento de control de tránsito para alcanzar un nivel de servicio "C", implementando ya sea señalización vertical y horizontal y en los casos necesarios semáforos, que podrán ser sincronizados para su mejor funcionamiento

3.3 Componentes del proyecto

El desarrollo del proyecto debería se puede diferenciar en diferentes componentes. De primero se debe realizar el proceso de licitación del diseño detallado de la alternativa seleccionada, para el cual la Administración deberá definir los requisitos técnicos mínimos para que una firma consultora sea considerada capaz de desarrollar el diseño de manera eficiente.

Este proceso dará pie al diseño de la radial el cual deberá considerar todos los componentes como diseño geométrico, diseño de estructuras de drenajes mayores y menores, diseño de señalización y seguridad vial, etc. así como la elaboración de los estudios básicos necesarios.

En la etapa de diseño se debe garantizar que se cumplan con todas las normas y reglamentos vigentes, en su última versión.

Con el diseño detallado se definirán las propiedades y áreas específicas que deberán ser expropiadas. Para cada una de estas propiedades se deberán confeccionar los planos catastro y realizar el respectivo proceso de expropiación de los terrenos.

Posteriormente se tendría el componente final del proyecto que correspondería a su construcción, para la cual se debe contemplar un proceso licitatorio para la asignación de la constructora; la administración deberá definir los requisitos mínimos que la firma constructora debe cumplir para ser considerada capaz de desarrollar de manera adecuada el proyecto. De manera paralela, se debe realizar la supervisión de las obras por un equipo profesional técnicamente calificado para verificar que el proceso constructivo se lleve en apego al diseño, la normativa técnica y las mejores prácticas constructivas.

3.4 Análisis de riesgos

3.4.1 Identificación de amenazas

Los proyectos tienen una interacción alta con el medio que los rodea y estas interacciones son las que en muchos casos determinan si los proyectos se ejecutan o no y la vigencia de este en su fase de operación. Por ello, la importancia de conocer y estudiar las amenazas o peligros durante la identificación, formulación y evaluación de proyectos en cada una de las etapas de la fase de preinversión.

3.4.1.1 Deslizamientos

Se realizó un análisis de riesgo por deslizamiento según la metodología Mora-Vahrson (1991). Como resultado en condiciones críticas de sismo y lluvia, las laderas muestran un riesgo bajo a medio en cuanto a susceptibilidad a deslizamiento, con tramos muy cortos que clasifican con riesgo alto. Estos últimos se encuentran cercanos a los valles de los ríos, donde las pendientes de las laderas se verticalizan.

En la siguiente figura se presenta el mapa de susceptibilidad ante deslizamiento

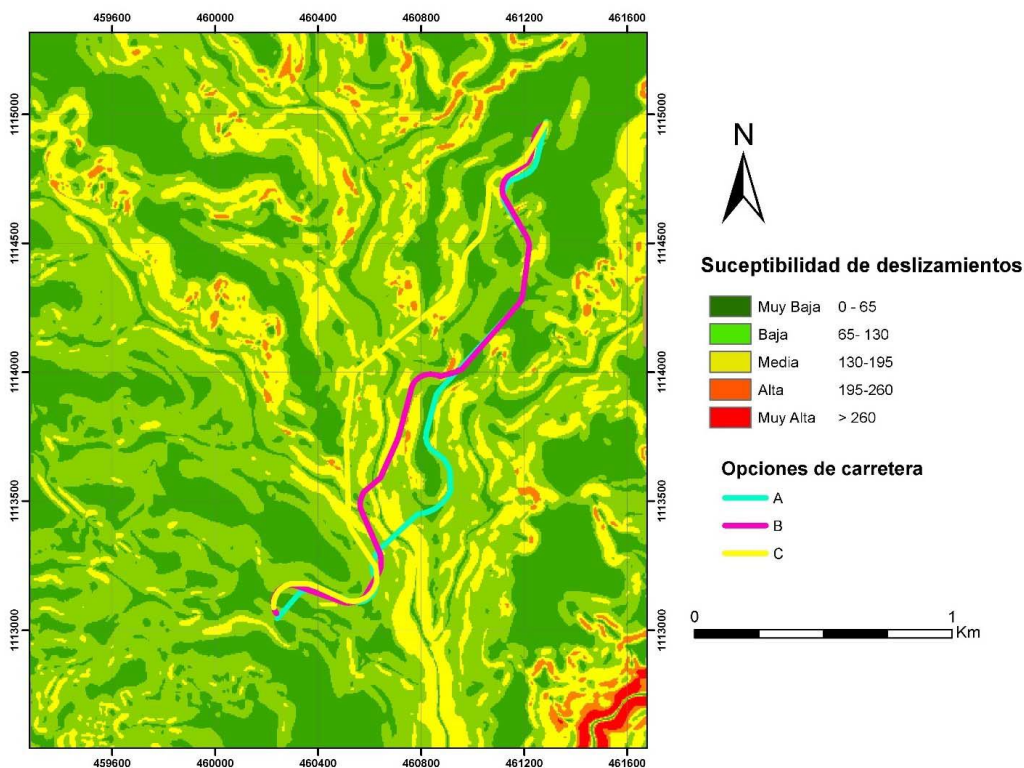


Figura 3-9. Mapa de susceptibilidad a deslizamiento del área de estudio.

Fuente: Cervantes, 2017.

Estudios geológicos y geotécnicos de detalle con exploración directa (cartografiado a escala 1:5000, perforaciones, muestreo y geofísica) son requeridos para el diseño final de las cimentaciones y cortes de las laderas, aspectos que deben ser contemplados en la fase de diseño final.

3.4.1.2 Inundación

Para el proyecto formulado no se esperarían problemas por inundación ya que se la carretera se proyecta construir sobre la parte alta de las laderas

Con base en la Metodología de Análisis de Amenazas Naturales para Proyectos de Inversión Pública del Mideplan (2014), a continuación se presenta la valoración realizada para la amenaza por inundación.

Cuadro 3-12. Matriz para Amenaza a inundación

<i>Matriz para Amenaza de Inundación</i>					
Variable	Parámetro	Nivel de incidencia	Valor	Ponderación	Índice
Localización en zonas de amenaza de inundación	No	Muy Bajo	1	35%	0.35
Pendiente promedio del terreno (promedio mensual 3 meses más lluviosos en mm) (Matriz combinación 1)	Combinación	Moderado	3	20%	0.60
Valoración del parámetro de humedad del terreno		Baja	2	15%	0.30
Cobertura Vegetación predominante		Media	3	10%	0.30
Distancia a cuerpos de agua y Altura sobre el tirante de agua (Matriz de combinación de 1)		Bajo	2	20%	0.4
				Índice total	1.95
					(Bajo)

3.4.1.3 Alud torrencial

Para el proyecto formulado no se esperarían problemas por alud torrencial ya que se la carretera se proyecta construir sobre la parte alta de las laderas

Con base en la Metodología de Análisis de Amenazas Naturales para Proyectos de Inversión Pública del Mideplan (2014), a continuación se presenta la valoración realizada para la amenaza por alud torrencial.

Cuadro 3-13. Matriz para Amenaza a alud torrencial

<i>Matriz para Amenaza a Alud Torrencial</i>					
Variable	Parámetro	Nivel de incidencia	Valor	Ponderación	Índice
Existencias de eventos previos de alud torrencial	No	Muy Bajo	1	35%	0.35
Posición del proyecto	Parte alta a media de las laderas	Muy bajo	1	25%	0.25
Disparo por lluvia*	300 - 400 mm	Alto	4	25%	1.00
Disparo por sismo. Zona sísmica	III	Alto	4	15%	0.60
				Índice total	2.20
					(Medio a bajo)
(*) Dato conservador					

3.4.1.4 Vulcanismo

La mayor amenaza volcánica a la zona del proyecto es debido al Volcán Poás. Por ubicarse el proyecto a una distancia aproximada de 18km del Volcán no existe riesgo por proyección balística, flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas o lahares.

Según las direcciones de viento y el potencial de masa de ceniza emitida y de columna de gases, el riesgo por caída de ceniza del proyecto es moderado y no se esperaría una afectación por acidificación, aunque de este último parámetro el proyecto se ubicaría en el límite de la zona de afectación.

En la siguiente figura se presenta el potencial de afectación por peligros combinados del Volcán Poás.

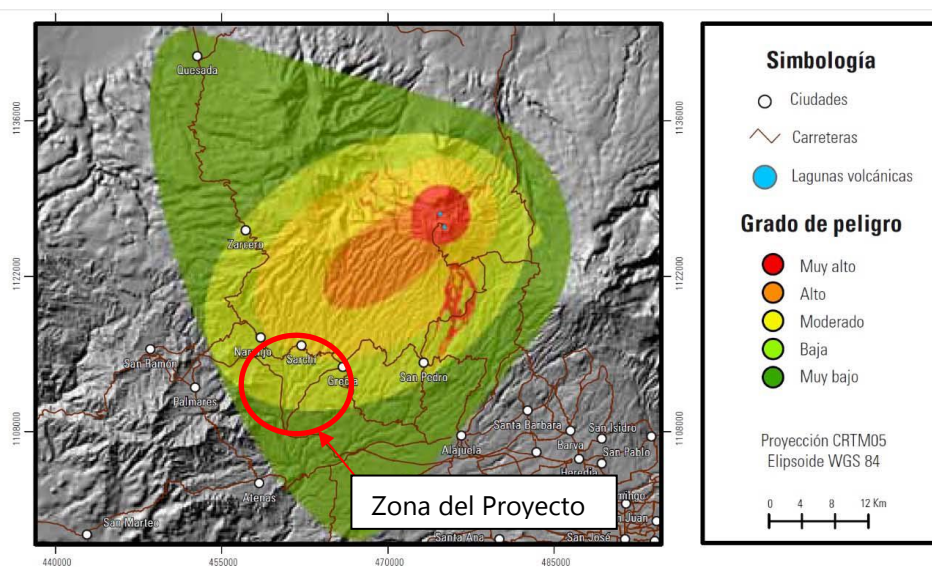


Figura 3-10. Peligros combinados del volcán Poás.

Fuente: Cervantes, 2017.

Según lo anterior se caracteriza el proyecto con un riesgo por vulcanismo de bajo a moderado, donde se debe tener en consideración la caída potencial de ceniza y los efectos de lluvia ácida.

3.4.1.5 Sismicidad

La Ingeniera María Laporte realizó un estudio de amenaza sísmica de sitio específico para el puente sobre el río Colorado, Sarchí, que se localiza en la hoja cartográfica IGN Naranjo, escala 1:50 000, en las coordenadas geográficas 10° 4' 7.11" latitud N, 84° 21' 29.54" longitud W, provincia de Alajuela. El mencionado puente es la obra más importante del proyecto vial que contempla opciones para conectar la RN 118 con la RN 1 en Sarchí Norte.

Este punto se escogió para representar la amenaza sísmica del proyecto vial que conectará la RN 118 con la RN 1 en Sarchí Norte, ya que además de ubicarse en la obra mayor del proyecto, cualquier obra en cualquiera de las opciones está a menos de 3 km de distancia de este punto. Para efectos de estimación de la amenaza sísmica, esta distancia no implicará cambios significativos por lo que la amenaza sísmica en este punto estima a cabalidad la amenaza sísmica de todo el proyecto vial.

El área de estudio se ubica según la clasificación morfotectónica de Costa Rica (Denyer et al., 2003, 2009), en la "Cuenca Intrarco Valle Central Occidental", y de acuerdo a los

Por otro lado, la siguiente figura muestra un mapa tectónico con la ubicación de los sismos con magnitud mayor o igual a 6,0.

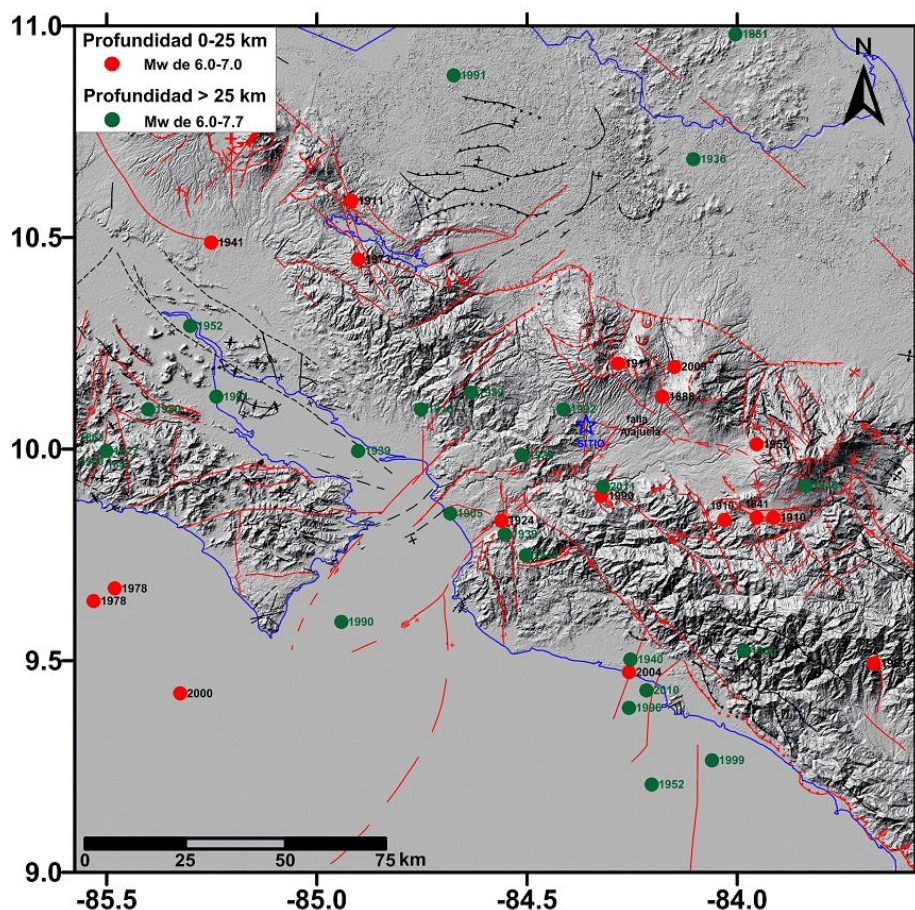


Figura 3-12. Mapa tectónico de la parte central occidental de Costa Rica con la ubicación de los sismos de magnitud $M_w \geq 6.0$ desde 1800: locales o someros (0-25 km) como círculos rojos; profundos (> 25 km) como círculos verdes.

Fuente: Laporte, 2017.

La amenaza sísmica se calculó con el programa EZFRISK V7.65 para el sitio del puente. Este punto se escogió para representar la amenaza sísmica del proyecto vial que conectará la RN 118 con la RN 1 en Sarchí Norte, ya que además de ubicarse en la obra mayor del proyecto, cualquier obra en cualquiera de las opciones está a menos de 3 km de distancia de este punto.

Para la escogencia de la solicitud del diseño del puente estudiado, se respetaron las guías de diseño internacionalmente avaladas para puentes. El AASHTO en su "Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design" (AASHTO, 2011) recomienda que los puentes sean diseñados para un 7% de probabilidad de excedencia en 75 años, que es

equivalente a un período de retorno de 1033.5 años. El documento Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (LDSRPCR 2013) es congruente con estas recomendaciones.

Para un período de retorno de 1033.5 años, la aceleración pico efectiva tiene un valor de 0.391 g para el sitio, que con efecto de falla cercana se aumenta a 0.470 g. Los espectros elásticos se generaron para este valor de aceleración pico efectiva, para 5% de amortiguamiento, para cuatro valores de tipo de sitio geotécnico. Las formas espectrales elásticas se obtuvieron siguiendo el procedimiento de los LDSRPCR 2013; estas formas son función de los coeficientes de período corto y largo (C_a y C_v , Dobry 2000). Los espectros inelásticos de diseño se elaboraron al aplicar para estas formas elásticas espectrales, los factores de reducción de Riddell & Newmark (1979) para un amortiguamiento β del 5% y ductilidades de 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 (tal como lo hace el CSCR 2010).

3.5 Análisis ambiental

En el anexo 1, se presenta la Evaluación ambiental del proyecto, la cual se ejecutó elaborando el Documento de Evaluación Ambiental D-1 que sería presentado por parte de la Administración ante la SETENA.

Según la evaluación realizada el proyecto tendría impacto ambiental en cuanto al consumo de agua, en el consumo de energía eléctrica, en la flora y fauna, emisiones, arrastre de partículas por viento, ruido y vibraciones, riesgo de contaminación por inadecuado manejo de aguas residuales, riesgo de contaminación por inadecuado manejo de residuos sólidos, generación de lodo, polvo y derrames, inestabilidad de taludes, aumento en la cobertura de construcción, expropiaciones, paisaje, tránsito vehicular, riesgo de contaminación por fugas y derrames accidentales. Para cada uno de estos impactos se plantean medidas ambientales que se deberán implementar en el proyecto, las cuales se presentan en la matriz de medidas para las casillas amarillas y rojas del formulario D-1, Anexo 1.

Así mismo se desarrollaron estudios biológicos, de arqueología y geológicos. En el estudio biológico se concluye que el proyecto se desarrolla en zonas muy intervenidas, la única zona frágil es la correspondiente a los emplazamientos de los puentes. En general no se afectaría algún ecosistema natural de interés. Para la ejecución del proyecto no sería realizar más estudios, pero si se debería realizar un bio monitoreo en la zona del puente sobre el río Colorado, y un levantamiento específico de vegetación en la ubicación de todos los puentes.

A nivel geológico hay abundante información disponible para concluir que el proyecto es factible siempre y cuando se tenga un adecuado manejo de las aguas de escorrentía, se tomen las medidas geotécnicas necesarias para evitar la erosión hídrica de los movimientos de tierra y se asegura la estabilidad de los cortes y taludes de la vía diseñada. Así mismo, se deben seguir las recomendaciones del estudio de amenaza sísmica.

Arqueológicamente no se reportan en la base de datos del Ministerio de Cultura, sitios históricos en el área del proyecto, sin embargo, no se descarta la presencia de los mismos, de ahí la necesidad que para la ejecución del proyecto se profundice el estudio mediante una prospección arqueológica.

De la evaluación se obtuvo una calificación final de la SIA de 798, que corresponde a la elaboración un Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental

4. Evaluación del Proyecto

Se realizó una evaluación económica del proyecto formulado para definir su rentabilidad. Esta evaluación se realizó considerando el año 2021 como fecha de inversión y un periodo de operación del proyecto comprendido entre el año 2023 y 2042.

4.1 Costos

El costo del proyecto está subdividido en las siguientes 5 áreas, Diseño, Expropiaciones, Catastro, Construcción y Supervisión.

Los costos de diseño incluyen lo correspondiente a los insumos y mano de obra directa, mano de obra indirecta, administración y utilidad para la elaboración de los estudios básicos, el diseño de las estructuras y producción de la documentación necesaria para la construcción de las obras.

Los costos por expropiaciones incluyen las áreas que deben ser expropiadas para la realización del proyecto. Estos costos consideran el costo del terreno, el costo de los cultivos, el costo por daño remanente y el costo de las edificaciones. A los terrenos por expropiar también está asociado el costo por la elaboración de los nuevos planos catastro.

El costo de Construcción considera el equipo, mano de obra, materiales, Imprevistos, administración y utilidad, de las tareas para requeridas para la ejecución del proyecto como lo son Limpiezas y remociones, movimiento de tierra, capas para pavimento flexibles, alcantarillas de cuadro y drenajes menores, accesos, sistema de seguridad vial, barreras y otros, señalamiento vertical, señalamiento horizontal y puentes.

Finalmente el costo de supervisión incluye los insumos y mano de obra directa, mano de obra indirecta, administración y utilidad para las labores de supervisión de la construcción del proyecto.

Así mismo, los costos se agrupan en el costo financiero y el costo social. El costo financiero corresponde al costo según los precios del mercado, mientras que el costo social refleja el valor real (beneficios) de los bienes y servicios utilizados en el proyecto para la economía en su conjunto.

4. Evaluación del Proyecto

En los siguientes cuadros se presenta un resumen los costos para las diferentes alternativas del proyecto

Opción		A		
Pavimento		Flexible	Rígido	Semirrígido
Costo financiero	Construcción	₡ 10 119 102 111.52	₡ 10 741 722 814.33	₡ 10 023 656 468.16
	Diseño	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00
	Supervisión	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36
	Catastro	₡ 5 048 827.38	₡ 5 048 827.38	₡ 5 048 827.38
	Expropiaciones	₡ 1 022 185 210.94	₡ 1 022 185 210.94	₡ 1 022 185 210.94
Costo Social	Construcción	₡ 8 502 070 458.00	₡ 9 006 398 781.00	₡ 8 696 448 084.00
	Diseño	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00
	Supervisión	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03
	Catastro	₡ 5 048 827.38	₡ 5 048 827.38	₡ 5 048 827.38
	Expropiaciones	₡ 1 022 185 210.94	₡ 1 022 185 210.94	₡ 1 022 185 210.94

Opción		B		
Pavimento		Flexible	Rígido	Semirrígido
Costo financiero	Construcción	₡ 8 740 108 394.65	₡ 9 368 758 270.13	₡ 8 662 008 502.26
	Diseño	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00
	Supervisión	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36
	Catastro	₡ 5 823 165.05	₡ 5 823 165.05	₡ 5 823 165.05
	Expropiaciones	₡ 1 407 967 646.17	₡ 1 407 967 646.17	₡ 1 407 967 646.17
Costo Social	Construcción	₡ 7 276 440 258.00	₡ 7 786 700 027.00	₡ 7 363 503 974.00
	Diseño	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00
	Supervisión	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03
	Catastro	₡ 5 823 165.05	₡ 5 823 165.05	₡ 5 823 165.05
	Expropiaciones	₡ 1 407 967 646.17	₡ 1 407 967 646.17	₡ 1 407 967 646.17

Opción		C		
Pavimento		Flexible	Rígido	Semirrígido
Costo financiero	Construcción	₡ 12 768 339 932.60	₡ 13 351 560 052.93	₡ 12 697 143 119.43
	Diseño	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00	₡ 288 695 000.00
	Supervisión	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36	₡ 965 446 401.36
	Catastro	₡ 5 712 040.83	₡ 5 712 040.83	₡ 5 712 040.83
	Expropiaciones	₡ 1 044 506 781.17	₡ 1 044 506 781.17	₡ 1 044 506 781.17
Costo Social	Construcción	₡ 10 828 577 312.00	₡ 11 289 271 830.00	₡ 10 896 287 895.00
	Diseño	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00	₡ 252 080 500.00
	Supervisión	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03	₡ 854 326 920.03
	Catastro	₡ 5 712 040.83	₡ 5 712 040.83	₡ 5 712 040.83
	Expropiaciones	₡ 1 044 506 781.17	₡ 1 044 506 781.17	₡ 1 044 506 781.17

4.2 Valor residual

El valor residual corresponde al valor del proyecto luego de la vida útil (periodo de análisis) de 20 años.

Según el análisis realizado el valor residual de la infraestructura por construir sería del 53.4% del costo de construcción y un 100% del costo de los terrenos adquiridos. De esta manera, en el siguiente cuadro se presenta el valor residual al final del periodo de análisis.

Cuadro 4-1 Resumen de valores residuales al final del periodo de análisis, Radial Sarchí.

Opción	Tipo de pavimento	Valor Residual (€)
A	Flexible	6 425 785 738,49
	Semirígido	6 374 817 764,93
	Rígido	6 758 265 193,79
B	Flexible	6 075 185 528,91
	Semirígido	6 033 480 186,38
	Rígido	6 410 884 562,42
C	Flexible	7 862 800 305,18
	Semirígido	7 824 781 206,95
	Rígido	8 174 239 849,43

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2019.

4.3 Evaluación económica-social

Los costos y los beneficios debidos a las mejoras en la carretera, se clasifican dentro de tres amplias categorías:

1. Beneficios y costos expresados en términos monetarios. Por ejemplo, costos de la circulación de los vehículos, ahorros en tiempo de viaje, costos de accidentes, etc.
2. Beneficios y costos expresados en términos no monetarios. Por ejemplo, seguridad de la circulación vial, contaminación de las emisiones de los vehículos, ruido del tráfico, etc.
3. Beneficios y costos no cuantificados. Por ejemplo, mayor bienestar social, impactos ecológicos, etc.

Para este proyecto se llevó a cabo el análisis económico en el Programa HDM-4, el cual considera, directamente, sólo los beneficios y los costos expresados en términos monetarios. Los otros costos y beneficios deben ser tomados en cuenta, como costos y beneficios exógenos.

El propósito del análisis económico es calcular los beneficios que se obtendrán para distintas opciones de conservación o mejora y seleccionar el grupo de inversiones que se realizará en el tramo analizado. Por lo tanto, se trata de un problema de optimización. Aunque, normalmente, no se consideran todas las posibles soluciones. Las opciones de inversión sobre cualquier tramo de la carretera están relacionadas.

La evaluación económica se realizó para el Proyecto Geométrico de las tres opciones, "A", "B", y "C", y para las tres alternativas de tipo de pavimento, flexible, semirrígido y rígido, por lo que se hizo el análisis de 9 alternativas.

La evaluación económica de la Radial Sarchí se expresará en términos de la Relación Beneficio/Costo (B/C), la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE) y en el Valor Actual Neto Económico (VANE), con una Tasa de Descuento del 8,31%. La evaluación económica se realizó con la comparación de la Situación Actual Optimizada con cada una de las Alternativas en este caso por el tipo de pavimentos (Flexible, Semirrígido y Rígido).

Cuadro 4-2 Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE).

Alternativa	(TIRE)		
	OPCION "A"	OPCION "B"	OPCION "C"
Caso Base sin Proyecto	0,000	0,000	0,000
Con Proyecto y Pavimento Flexible	18,6	19,5	16,0
Con Proyecto y Pavimento Rígido	17,5	18,3	16,6
Con Proyecto y Pavimento Semirrígido	18,4	19,4	16,1

Fuente: Programa HDM-4, Elaborado por Camacho y Mora S.A, 2018.

Cuadro 4-3 Valor Actual Neto Económico (VANE).

Alternativa	(VANE)		
	OPCION "A"	OPCION "B"	OPCION "C"
Caso Base sin Proyecto	0,000	0,000	0,000
Con Proyecto y Pavimento Flexible	12 640,951	13 035,922	11 021,095
Con Proyecto y Pavimento Rígido	11 749,112	12 139,062	12 255,020
Con Proyecto y Pavimento Semirrígido	12 642,501	13 157,967	11 157,514

Fuente: Programa HDM-4, Elaborado por Camacho y Mora S.A, 2018. (Millones de Colones).

4.4 Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad considerando un rango de variación para las siguientes variables.

Cuadro 4-4 Variables a Sensibilizar y Rangos de Varación.

Variable	Rango
Costos de Inversión	+/- 30
Expropiaciones	+/-40
Costos de operación	+/-20
Tránsito Promedio Diario	+/-20

Fuente: Elaborado por Camacho y Mora S.A, 2018.

De los resultados obtenidos, únicamente si la demanda (Tránsito Promedio Diario) es menor en un 20% a lo estimado para esta evaluación, el proyecto no resultaría rentable, en ninguna de las alternativas.

5. Resumen de Alternativa Seleccionada

Del análisis realizado la opción más rentable para la radial Ruta Nacional 1- Sarchí norte es la opción B con pavimento semirígido. En el Anexo 2, se presentan los planos correspondientes y en los siguientes puntos se hace un resumen de esta opción

a) Trazo

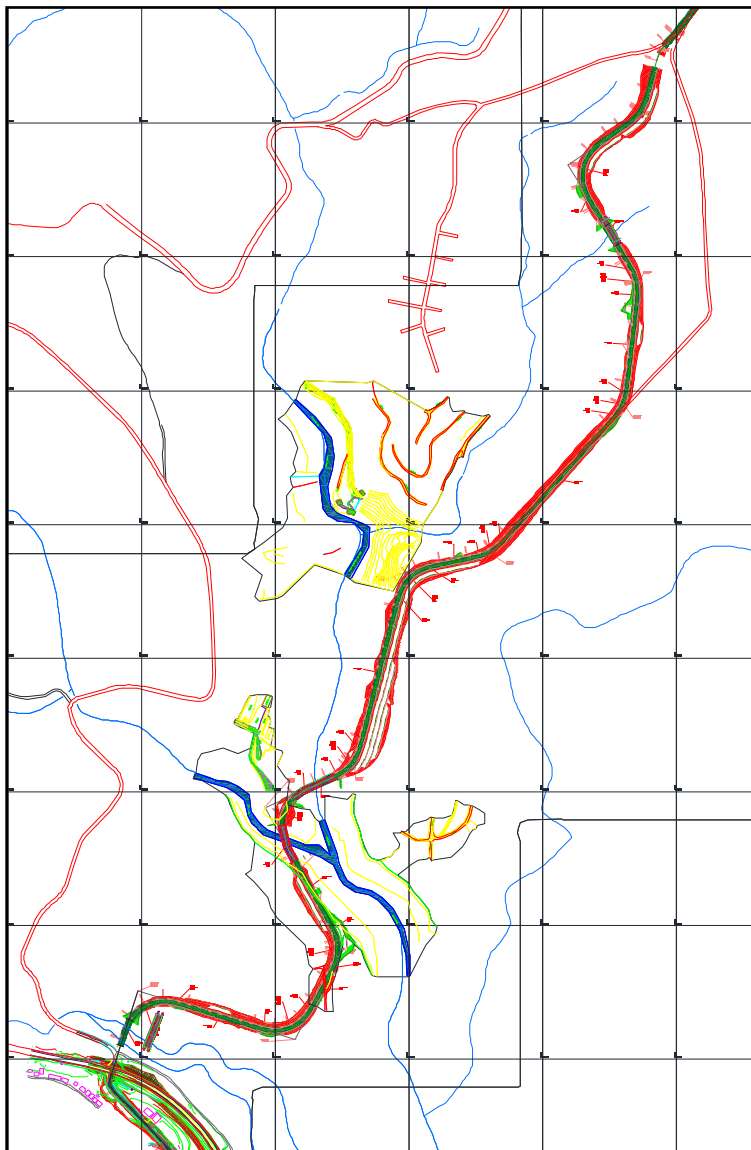


Figura 5-1. Alineamiento Horizontal de Opción B.

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

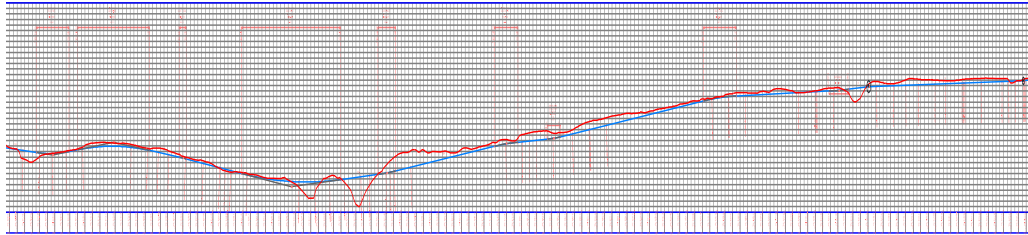


Figura 5-2. Alineamiento Vertical de Opción B.


Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

Cuadro 5-1. Alineamiento Vertical de Opción B.

		Características Geométricas				Código No.:	OT-16-27
		Estudio de Factibilidad para la construcción de la radial entre la R.N. 1 y Sarchí Norte (R.N. 118)				25/01/2018	Departamento:
						Ruta:	OPCION B
No.	TIPO	PIV INICI A TANG	TERMINA TANG	PENDIENTE ENTRANTE (%)	LONGITUD ENTRANTE (m)	PENDIENTE SALIENTE (%)	LONGITUD ADELANTE (m)
1	VPI	460.00		0.00%	0.000	-5.30%	0.000
2	VPI	574.300		-5.30%	43.345	7.08%	43.345
3	VPI	735.510		7.08%	95.985	-7.68%	95.985
4	VPI	920.230		-7.68%	8.590	-9.00%	8.590
5	VPI	1207.670		-9.00%	131.375	4.82%	131.375
6	VPI	1461.800		4.82%	23.750	8.48%	23.750
7	VPI	1778.540		8.48%	31.585	3.62%	31.585
8	VPI	1905.340		3.62%	17.245	8.55%	17.245
9	VPI	2346.520		8.55%	43.560	1.84%	43.560
10	VPI	2662.580		1.84%	26.410	4.49%	26.410
11	VPI	2741.930		4.49%	0.000	1.26%	0.000
12	VPI	3152.840		1.26%	0.000	0.00%	0.000

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

Cuadro 5-2. Alineamiento Horizontal de Opción B.

						Código No.:	OT-16-27		
						Departamento:	Ingeniería		
						Ruta:	OPCION B		
No.	TIPO	ESTACIÓN INICIAL (m)	ESTACIÓN FINAL (m)	RADIO (m)	Dirección de Curva	radius poseision	ÁNGULO Δ (°)	LONGITUD DE CUERDA (m)	ESTACIÓN PI
1	Tangent	460	495.38						
2	Spiral	495.38	539.38	73.00	Right	End		44.000	524.85
3	Curve	539.38	609.6	73.00	Right		55.1154	70.220	590.96
4	Spiral	609.6	653.6	73.00	Right	Star		44.000	624.39
5	Tangent	653.6	782.59						
6	Spiral	782.59	826.59	73.00	Left	End		44.000	812.07
7	Curve	826.59	882.89	73.00	Left		44.1879	56.300	865.31
8	Spiral	882.89	926.89	73.00	Left	Star		44.000	897.69
9	Tangent	926.89	974						
10	Spiral	974	1018	73.00	Left	End		44.000	1003.47
11	Curve	1018	1047.08	73.00	Left		22.8227	29.080	1036.47
12	Spiral	1047.08	1091.08	73.00	Left	Star		44.000	1061.87
13	Tangent	1091.08	1227.31						
14	Spiral	1227.31	1271.31	73.00	Right	End		44.000	1256.79
15	Curve	1271.31	1348.76	73.00	Right		60.7878	77.450	1330.57
16	Spiral	1348.76	1392.76	73.00	Right	Star		44.000	1363.56
17	Tangent	1392.76	1415.39						
18	Spiral	1415.39	1459.39	73.00	Left	End		44.000	1444.86
19	Curve	1459.39	1481.5	73.00	Left		17.355	22.110	1473.37
20	Spiral	1481.5	1525.5	73.00	Left	Star		44.000	1496.29
21	Tangent	1525.5	1777.51						
22	Spiral	1777.51	1821.51	73.00	Right	End		44.000	1806.99
23	Curve	1821.51	1858.9	73.00	Right		29.3447	37.390	1845.64
24	Spiral	1858.9	1902.9	73.00	Right	Star		44.000	1873.7
25	Tangent	1902.9	1954.62						
26	Spiral	1954.62	1998.62	73.00	Left	End		44.000	1984.09
27	Curve	1998.62	2000.91	73.00	Left		1.7984	2.290	2000.87
28	Spiral	2000.91	2044.91	73.00	Left	Star		44.000	2015.71
29	Tangent	2044.91	2325.17						
30	Spiral	2325.17	2369.17	73.00	Left	End		44.000	2354.65
31	Curve	2369.17	2369.86	73.00	Left		0.5377	0.690	2370.52
32	Spiral	2369.86	2413.86	73.00	Left	Star		44.000	2384.65
33	Tangent	2413.86	2555.4						
34	Spiral	2555.4	2599.4	73.00	Left	End		44.000	2584.87
35	Curve	2599.4	2604.19	73.00	Left		3.763	4.790	2603.06
36	Spiral	2604.19	2648.19	73.00	Left	Star		44.000	2618.99
37	Tangent	2648.19	2763.14						
38	Spiral	2763.14	2807.14	73.00	Right	End		44.000	2792.61
39	Curve	2807.14	2873.94	73.00	Right		52.4308	66.800	2855.35
40	Spiral	2873.94	2917.94	73.00	Right	Star		44.000	2888.74
41	Tangent	2917.94	2945.76						
42	Spiral	2945.76	2989.76	73.00	Left	End		44.000	2975.23
43	Curve	2989.76	2997.25	73.00	Left		5.8762	7.490	2994.96
44	Spiral	2997.25	3041.25	73.00	Left	Star		44.000	3012.04
45	Tangent	3041.25	3095.8						
46	Curve	3095.8	3131.49	73.00	Right		28.0101	35.690	3114.01
47	Tangent	3131.49	3152.44						

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2018.

La información adicional para el módulo de tráfico del programa IHSDM 2017 es la siguiente:

- Pendiente transversal -2%, para ambos sentidos de circulación.
- Velocidad de Proyecto 50 kph.
- Sobreelevación 8%.
- Radio mínimo 73 metros.
- Distancia de visibilidad 65 metros.

b) Puentes

Cuadro 5-3. Puentes en la opción de alineamiento B

	Nombre en Planos	No. Tramos	Long total (m)	No. Super	No. Sub	Ancho Total (m)	Peralte de vigas (m)	H Bastión 1 (m)	H Bastión 2 (m)
1	Paso a desnivel RN1	1	13.2	1	2	18	0,85	10,9	10,9
2	Puente Sobre Quebrada Barquero	2	50	2	3	12	1,08/ 1,83	5,0	7,5
3	Puente Sobre el Rio Pilas	2	70	2	3	12	1,83	5,5	5,5
4	Puente Sobre el Rio Colorado	3	85	1	4	12	Variabl e	5,5	5,5
5	Rincón Colorado	1	50	1	2	12	2	6,5	8,0

Fuente: Camacho y Mora S.A, 2017.

c) Pavimento

Cuadro 5-4. Espesores de la estructura de pavimento semirrígido para las tres secciones

Material	Espesor	Esquema
Sección 1		
Asfalto	7,5	
Base	20,0	
Subbase	27,5	
Sección 2		
Asfalto	7,5	
Base	20,0	
Subbase	27,5	
Sección 3		
Asfalto	7,5	
Base	25,0	
Subbase	30,0	

Fuente: Camacho y Mora S.A., 2018

6. Anexos

6.1 Evaluación Ambiental

6.2 Alternativa Seleccionada (Opción B con pavimento semirígido)