

Artículo de Investigación DOI: <https://doi.org/10.61154/holopraxis.v8i2.3676>

Diseño de la vía “Cementerio de Guayllabamba – Estadio de San Miguel del Quinche”, cantón Quito.

Design of the "Cementerio de Guayllabamba – Estadio de San Miguel del Quinche" road, Quito canton.

Luis Miguel, León-Torres ^a; Francisco Sammyr, Villarruel-Meythaler ^b; Josué Isaías, Almeida-Pazmiño ^c; Bryan David, Alquina-Espinosa ^d.

^a Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: lmlleon@uce.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7845-3275>

^b Gobierno Autónomo Descentralizado de Pichincha, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: panchovillamey@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2464-5521>

^c Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: jialmeidap@uce.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5557-6786>

^d Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: bdalquina@uce.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5363-8863>

Recibido: 2 de abril de 2024

Aprobado: 3 de julio de 2024

RESUMEN

El presente trabajo consistió en un estudio técnico, cuyo objetivo principal fue el diseño geométrico y estructural de la vía “Cementerio de Guayllabamba - Estadio de San Miguel de El Quinche”. Con el desarrollo de este proyecto se pretende mejorar las condiciones actuales de movilidad de los habitantes de la comuna San Miguel del Quinche, facilitando de tal manera su desplazamiento hacia la zona central de la parroquia de Guayllabamba, que se constituye como un punto importante en cuanto al desarrollo de actividades cotidianas y económicas. La

metodología implementada fue mediante la realización de una serie de actividades o fases que se llevaron a cabo con la finalidad de obtener un diseño adecuado de la vía en cuestión, tales como: levantamiento topográfico y procesamiento de datos, estudio de mecánica de suelos, diseño de la estructura del pavimento, diseño geométrico horizontal y vertical, determinación del sistema de drenaje vial, cálculo de cantidades de obra, señalización vial y presupuesto referencial; en función de normativas vigentes en cuanto a diseño vial en territorio ecuatoriano. El resultado obtenido del estudio técnico corresponde al diseño integral y obtención del presupuesto referencial de la vía de estudio, mismo que podrá ser implementado como base para la posterior ejecución de la obra en el sector especificado. Se concluyó que la alternativa más viable para su construcción corresponde al pavimento flexible, ya que su costo es menor.

Descriptores: Diseño; carretera; drenaje; presupuesto; movilidad. (Tesauro UNESCO)

ABSTRACT

The present research consisted of a technical study, whose main objective was the geometric and structural design of the road " Cementerio de Guayllabamba - Estadio de San Miguel de El Quinche". The development of this project is intended to improve the current mobility conditions of the inhabitants of the San Miguel del Quinche community, thus facilitating their movement towards the central area of the Guayllabamba parish, which is an important point for the development of daily and economic activities. The methodology implemented was through a series of activities or phases that were carried out with the purpose of obtaining an adequate design of the road in question, such as: topographic survey and data processing, soil mechanics study, pavement structure design, horizontal and vertical geometric design, determination of the road drainage system, calculation of quantities of work, road signs and reference budget; according to current regulations in terms of road design in Ecuadorian territory. The result obtained from the technical study corresponds to the integral design and obtaining of the reference budget of the study road, which can be implemented as a basis for the subsequent execution of the work in the specified sector. We concluded that the most viable alternative for its construction corresponds to the flexible pavement, since its cost is lower.

Descriptors: Design; roadway; drainage; budgets; mobility. (UNESCO Thesaurus)

INTRODUCCIÓN

En Ecuador se ha producido un incremento gradual de la población en zonas rurales, de tal manera que, en la actualidad, el desarrollo y expansión de nuevas comunidades o barrios han generado la necesidad de planificar y llevar a cabo proyectos viales con la finalidad de conectar dichos asentamientos con zonas importantes en cuanto a desarrollo económico.

La comuna San Miguel del Quinche pertenece a la parroquia de El Quinche, cantón Quito, provincia de Pichincha. Según (Gobierno Autónomo Descentralizado de El Quinche, 2021), el número de habitantes de la parroquia de El Quinche es de 16056, de los cuales, 6702 se hallan en la comuna de San Miguel de El Quinche. Con base a dichos datos, se evidencia que el 38.67% de la población se dedica a actividades económicas relacionadas a la agricultura y silvicultura, por lo cual es indispensable contar con vías de comunicación en buen estado.

Con respecto al sistema vial, se observa que, dentro de la comuna, la mayor parte de vías en la zona central se encuentran adoquinadas, mientras que, en zonas exteriores existen caminos empedrados o incluso sin ningún tipo de capa de rodadura.

Es primordial que en las zonas rurales se desarrollen proyectos viales, ya que, según Huamaní et al. (2022) “la infraestructura vial en la actualidad es un factor importante para el desarrollo social, ya que se constituye como un componente muy significativo en la vida cotidiana de los individuos” (p. 2).

Actualmente, en la comuna San Miguel de El Quinche, la vía a proyectarse no se encuentra en óptimas condiciones. En cuanto a la superficie de rodadura, se constituye como una vía de tierra, misma que se puede tornar inestable ante el temporal invernal, debido a que, no se cuenta con una estructura del pavimento adecuada para el desplazamiento vehicular, además de que no presenta la capacidad para conducir el agua hacia el sistema de drenaje natural, ya que carece de un sistema de recolección de aguas lluvia. Con respecto a las características geométricas, es necesario que la vía cumpla con ciertos parámetros como: ancho de calzada mínimo, radios de curvatura, pendientes transversales a lo largo de vía. Por tales motivos, el desplazamiento por la vía en sus actuales condiciones no garantiza seguridad a sus usuarios.

La vía de estudio se constituye como un camino vecinal; es decir, una vía de orden menor, la cual sirve para comunicar zonas rurales. De tal manera, su construcción beneficiaría a los habitantes en cuanto a su interacción con zonas aledañas. Así lo afirma Ospina (2016) “las vías secundarias y terciarias juegan un papel importante en la integración nacional, regional y local, y además facilitan el acceso a la vida nacional de comunidades remotas y aisladas” (p. 20).

La mejora vial interna en zonas rurales conlleva a la generación de impactos positivos en la economía local y la educación, debido a la reducción en tiempos de desplazamiento entre sectores; Monge & Garrido (2019) señalan que “la evidencia demuestra que las mejoras en la infraestructura vial rural tienen un impacto positivo en la educación rural gracias a la reducción de costos, tiempo y distancias que implican; además, el desarrollo del mercado local que promueven” (p. 2).

Con base a lo antes mencionado, se propuso realizar el diseño de la vía de comunicación, mismo que se compone de distintas fases o estudios de ingeniería para cumplir su objetivo. A partir de una vía diseñada en función de la consideración de parámetros geométricos y estructurales establecidos en normativas vigentes para el diseño de caminos, se podrá habilitar una vía alterna en óptimas condiciones con respecto a la vía principal E35 o también denominada Panamericana, que comunica ambas parroquias, San Miguel del Quinche y Guayllabamba.

MÉTODOS

El presente proyecto se halla compuesto por una serie de estudios complementarios. Por lo tanto, se describe la metodología implementada en cada uno de ellos.

Estudio de tráfico

Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan con el objetivo de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas en la vía (Rodríguez et al., 2023).

El estudio de tráfico consistió en determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) a partir de la metodología de cálculo establecida en las Normas de Diseño Geométrico del MTOP.

Previo a realizar el conteo vehicular, es primordial determinar los puntos de control, el tiempo de conteo y el tipo de conteo que se llevará a cabo. Para el presente proyecto, el tipo de conteo empleado fue por medios manuales; mientras que se definieron dos estaciones de control, mismas que se situaron al inicio y al final del tramo de estudio.

Estudio de suelos

Según Hernández et al (2022), “la aplicación de preceptos de la mecánica de suelos

al diseño vial y el mantenimiento de vías en explotación permite reconocer el comportamiento de los suelos que conforman la estructura de pavimento y la franja de emplazamiento del eje vial” (p. 7).

El estudio de suelos fue llevado a cabo con la finalidad de obtener el índice CBR del suelo perteneciente a la zona de implantación del proyecto y otros parámetros como cohesión y ángulo de fricción interna del suelo. Dichos parámetros se determinaron a partir de una serie de ensayos de laboratorio para garantizar la confiabilidad de los resultados.

La toma de muestras se realizó en cada kilómetro a lo largo la vía, de tal manera, se obtuvo un total de 5 muestras. El muestreo se llevó a cabo mediante calicatas a una profundidad de 0.50 m.

Los ensayos de suelos que se aplicaron en el presente estudio son: contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, clasificación de suelos, compactación, CBR y compresión triaxial rápida. Cabe recalcar que los ensayos se realizaron acorde a la normativa ASTM.

Diseño geométrico

El diseño geométrico de una vía comprende la determinación de características de la vía a nivel horizontal y vertical en función de la normativa empleada, tales como: velocidad de diseño, velocidad de circulación, distancia de visibilidad de parada, distancia de rebasamiento, coeficiente de fricción lateral, radio mínimo, grado de curvatura, peralte, tangente intermedia mínima, sobreancho, curvas verticales cóncavas y convexas, gradiente máxima, gradiente mínima, ancho de carril, pendiente transversal o bombeo, inclinación de taludes.

Diseño estructural

El diseño de la estructura del pavimento se llevó a cabo con base a la metodología presentada en la “Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos, versión 1993”, ya que actualmente, se sigue empleando en el diseño vial.

Esta metodología de diseño se basa en la determinación del número estructural (SN) de cada capa que compone la estructura del pavimento. Para Sánchez et al. (2020):

Los espesores de cada capa se determinan teniendo en cuenta los siguientes factores: las características de los materiales que la componen, las solicitaciones

del tráfico, las características de la subrasante y las condiciones ambientales a las que va a ser sometido el pavimento durante toda la vida de servicio (p. 3).

En el presente estudio, se realizaron dos alternativas en cuanto a la capa de rodadura, para su posterior análisis. Por lo tanto, el diseño de la estructura del pavimento se realizó para capas de rodadura de tipo articulada y de concreto asfáltico.

Drenaje vial

El sistema de drenaje se constituye como una de las partes fundamentales en el diseño de una vía, ya que el mismo influye directamente en cuanto a la durabilidad de la misma. La finalidad de dicho sistema radica en la conducción adecuada del agua proveniente de fuentes superficiales o subsuperficiales. Para Guayas & Benavides (2020), “proyecciones adecuadas del sistema de drenaje son fundamentales para el funcionamiento y duración satisfactoria de las obras viales” (p. 36).

Para la determinación del sistema de drenaje vial, fue necesario determinar una serie de parámetros relacionados a las condiciones meteorológicas e hidrológicas de la zona de implantación de la vía, como: área de drenaje, periodo de retorno, intensidad máxima de lluvia, tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía, caudal de diseño.

Señalización vial

La señalización vial se constituye por señalización horizontal y vertical, las cuales se rigen según las siguientes normativas:

- RTE INEN 004-1: 2011. Señalización vial. Señalización vertical
- RTE INEN 004-2: 2011. Señalización vial. Señalización horizontal

Para el presente proyecto, se ha implementado señalética horizontal y vertical, con la finalidad de garantizar seguridad a los usuarios de la vía.

Impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental se realiza con la finalidad de identificar y evaluar los impactos negativos y positivos al ambiente, que se generarán a partir de la ejecución de cada etapa del proyecto. Así lo afirma Gallo et al. (2021), “el estudio de impactos ambientales está conformado por una serie de análisis, estudios y

descripciones, que le permiten a la autoridad de aplicación realizar una estimación de los impactos positivos y negativos que la obra tendrá en su entorno inmediato” (p. 284).

Para el estudio de impacto ambiental, se implementó la metodología de matrices de Leopold modificada, en la cual se requieren llevar a cabo: descripción de etapas del proyecto, determinación de áreas de influencia directa e indirecta, definición de la línea base, identificación y evaluación de impactos ambientales, obtención de resultados.

RESULTADOS

Estudio de tráfico

El estudio de tráfico tiene como finalidad la proyección a futuro el valor de TPDA actual, con el objetivo de dar propiedades adecuadas a la vía.

La predicción del tráfico consiste en adicionar valores de tráfico al TPDA actual (96 veh/día). En este caso, se ha determinado el tráfico futuro o proyectado, tráfico generado, tráfico por desarrollo y tráfico desviado.

- La determinación del tráfico proyectado se dio mediante la metodología establecida por el MTOP (2003), en la cual se emplea la fórmula de crecimiento poblacional compuesto.
- Según el MTOP (2003) el tráfico generado corresponde a un máximo de 20% del tráfico normal proyectado al primer año tras la culminación de la construcción o mejoras de la vía.
- El tráfico por desarrollo puede representar el 5% del TPDA actual, ya que se refiere a un volumen vehicular vinculado al crecimiento de la producción de la zona de implantación del proyecto.
- El valor de tráfico desviado tiende a identificarse como el 10% del tráfico actual, correspondiente a los vehículos que se incorporarán de otras vías hacia la vía de estudio tras su puesta en servicio.

Tráfico promedio diario anual del proyecto

Según el MTOP (2003), se calcula de la siguiente manera:

$$TPDA_{(proyecto)} = TPDA_{(futuro)} + TPDA_{(generado)} + TPDA_{(desarrollo)} + TPDA_{(desviado)}$$

Tabla 1

Determinación del tráfico promedio diario anual del proyecto

Parámetro	Valor
Tráfico promedio diario actual	96 veh/día
Tráfico futuro o proyectado	145 veh/día
Tráfico generado	19 veh/día
Tráfico por desarrollo	5 veh/día
Tráfico desviado	10 veh/día
Tráfico promedio diario anual del proyecto	179 veh/día

Fuente: Elaboración propia

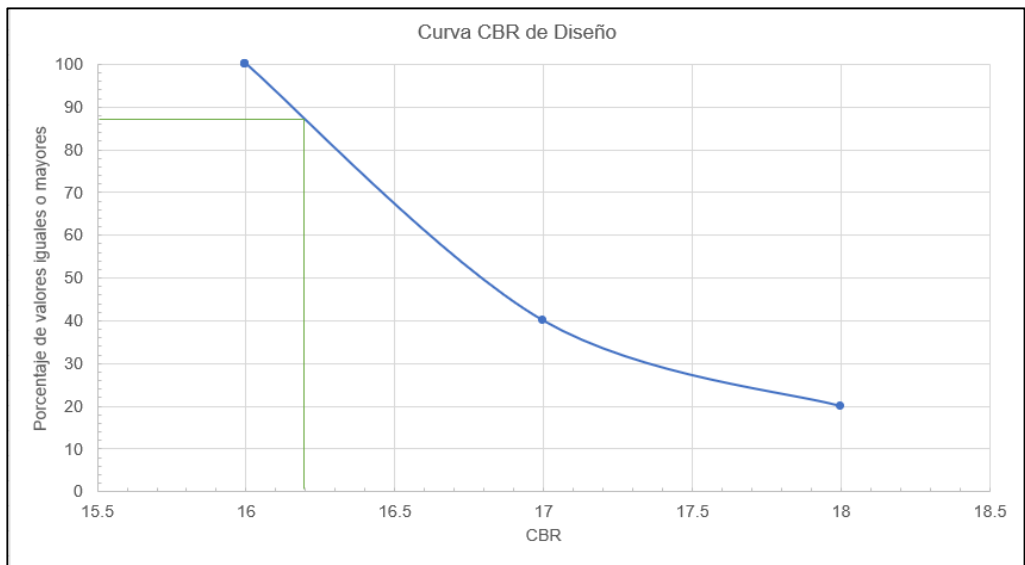
Estudio de suelos

CBR de la subrasante

El índice CBR es un parámetro fundamental para el diseño de una carretera; ya que es un indicador de la capacidad portante de la capa de subrasante (Viscarra, 2006). A continuación, se presenta la gráfica correspondiente a la determinación del índice CBR.

Figura 1

Curva CBR de Diseño



Fuente: Elaboración propia

El número de ejes equivalentes del proyecto Diseño geométrico y estructural de la vía “Cementerio de Guayllabamba – Estadio de San Miguel de El Quinche” es mayor a un millón, por lo cual se adopta un percentil de 87.5% y se obtiene un CBR de diseño de 16.20%.

Diseño geométrico

Una vez determinado el TPDA proyectado, se define la clase de vía según lo establecido por el MTOP (2003).

Tabla 2

Clasificación vial en función del TPDA del proyecto

Función	Clase de carretera (Según MTOP)	TPDA (Año final de diseño)
Corredor Arterial	R-I o R-II	Más de 8000
	I	De 3000 a 8000
Colectora	II	De 1000 a 3000
	III	De 300 a 1000
Vecinal	IV	De 100 a 300
	V	Menos de 100

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002

De acuerdo con el estudio de tráfico, la vía propuesta se clasifica como Tipo IV; además, se considera que la vía posee un relieve montañoso debido a que las pendientes longitudinales comprenden valores de hasta 10%. A continuación, se presentan los parámetros bajo los cuales se llevó a cabo el diseño geométrico.

Figura 2

Valores de diseño recomendados para vías de Clase IV

NORMAS	CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾					
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M
Velocidad de diseño (K.P.H.)	80	60	50	60	35	25 ⁽⁹⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽⁹⁾
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽⁹⁾
Distancia de visibilidad para parada (m)	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110
Peralte	10% (Para V > 50 K.P.H.)						8% (Para V < 50 K.P.H.)					
Coefficiente “K” para: ⁽²⁾												
Curvas verticales convexas (m)	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2
Curvas verticales cóncavas (m)	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)												
Ancho de pavimento (m)	6,00						4,00 ⁽⁸⁾					

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002.

Tras la implementación de la metodología de diseño geométrico, establecida en las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2003), se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3

Resumen de parámetros para el diseño

Diseño geométrico horizontal		Diseño geométrico vertical		
Velocidad de diseño	25.00 km/h	Curvas verticales cóncavas	15.00 m	
Velocidad de circulación	24.00 km/h	Curvas verticales convexas	15.00 m	
Distancia de visibilidad de parada	25.00 m	Gradiente máxima	12.00 %	
Distancia de rebasamiento	110.00 m	Gradiente mínima	0.50 %	
Coeficiente de fricción lateral	0.32	Sección transversal		
Radio mínimo	20.00 m	Ancho de carril	6.00 m	
Grado de curvatura	57°17'45"	Pendiente transversal o bombeo	2.00 %	
Peralte	8.00%	Taludes	Corte	0.5:1.0
Tangente intermedia mínima	7.00 m		Relleno	1:1
Sobreechancho	0.20 m			

Fuente: Elaboración propia

Diseño estructural

El diseño de la estructura del pavimento se realizó para capas de rodadura de tipo articulada y de concreto asfáltico.

Variables para diseño

Previo al diseño de la estructura del pavimento se deben considerar variables de

diseño, las cuales influyen directamente en el desarrollo de la metodología de diseño, mismas que se basan en el tráfico vehicular, periodo de diseño y tipo de vía.

A continuación, se presentan las variables de diseño consideradas en función de la metodología AASHTO.

Tabla 4
Variables para diseño estructural

Variable	Valor
Periodo de diseño	25 años
TPDA de diseño	179 veh/día
Factor de carril	1.00
Factor de distribución direccional	0.50
Factor de crecimiento del tráfico	30.79
Serviciabilidad	4.2, 2.0
Factor de carga equivalente	0.606, 17.10
Confiabilidad	70%
Desviación normal estándar	-0.524
Desviación estándar combinada	0.45
Número de ejes equivalentes	1327573

Fuente: Elaboración propia

Propiedades del suelo

Es necesario definir propiedades referentes al suelo, con la finalidad de determinar el módulo de resiliencia y los coeficientes estructurales de cada capa de la estructura del pavimento.

El módulo de resiliencia de la subrasante se halla mediante la aplicación de relaciones con su CBR; mientras que, para determinar el módulo de resiliencia y los coeficientes estructurales de las capas de base y subbase, se emplean gráficas en relación al CBR.

A continuación, se presentan los valores referentes a las propiedades del suelo.

Tabla 5

Parámetros para diseño estructural referentes al suelo

Parámetro	Valor
CBR (subrasante)	16.20%
CBR (base)	80.00%
CBR (subbase)	30.00%
Módulo de resiliencia (subrasante)	18336.06 psi
Módulo de resiliencia (base)	28000.00 psi
Módulo de resiliencia (subbase)	14800.00 psi
Coefficiente estructural a2 (base)	0.133
Coefficiente estructural a3 (subbase)	0.11

Fuente: Elaboración propia

La determinación del coeficiente estructural de la capa de rodadura flexible se da en función de la relación entre el número de ejes equivalentes y la estabilidad Marshall.

Tabla 6

Coeficiente estructural para capa de rodadura de asfalto

Parámetro	Valor
Número de ejes equivalentes	>1000000
Estabilidad	8006 N
Coefficiente estructural a1	0.41

Fuente: Elaboración propia

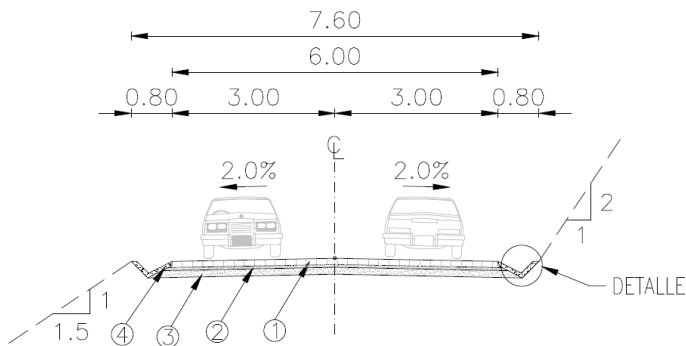
Según la metodología de diseño (AASHTO, 1993), el coeficiente estructural para la capa de rodadura articulada adopta un valor de 0.26 si el número de ejes equivalentes es menor a 10000, y si supera dicho valor de ejes equivalentes, el coeficiente será de 0.44. Para el presente caso, el valor del coeficiente (a1) corresponde a 0.44.

Diseño de la estructura del pavimento

A continuación, se detalla el proceso de diseño de la estructura del pavimento articulado y flexible, con base en la metodología AASHTO.

- Definir los parámetros iniciales de diseño, referentes a: CBR de las capas subrasante, subbase y base, serviciabilidad, confiabilidad y error estándar combinado.
- Hallar el número estructural de la subrasante, subbase y base, mediante el empleo del programa AASHTO 93
- Realizar el cálculo de los espesores de cada capa bajo la metodología AASHTO
- Elaborar un esquema de la sección transversal

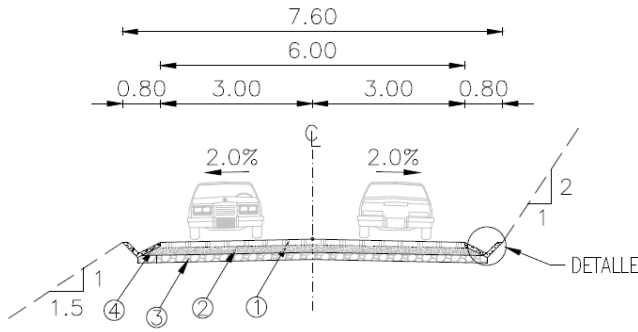
Figura 3
Esquema del pavimento articulado



1. Capa de rodadura de adoquín. $e=8\text{cm}$
2. Cama de arena. $e=5\text{cm}$
3. Subbase granular. $e=17.50\text{ cm}$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4
Esquema del pavimento flexible



1. Capa de rodadura de hormigón asfáltico. e=7.5 cm
2. Base granular. e=15cm
3. Subbase granular. e=15cm

Fuente: Elaboración propia

Drenaje vial

Previo a realizar el diseño de cunetas y alcantarillas, es necesario determinar variables correspondientes al estudio hidrológico de la zona de implantación del proyecto, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 7

Variables para diseño de cunetas y alcantarillas

Parámetro	Valor
Periodo de retorno	25 años
Intensidad de lluvia	110.80 mm/h
Coefficiente de escorrentía	0.46
Área de aportación	Variable

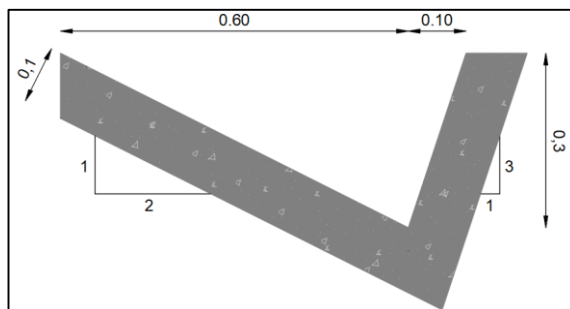
Fuente: Elaboración propia

Cunetas

El tipo de cuneta que será implementada en el proyecto será de tipo triangular; además, serán revestidas de hormigón, debido a que facilitan la conducción de agua a mayores velocidades sin que se generen problemas relacionados a erosión. A continuación, se presenta la sección de cuneta implementada en el proyecto vial.

Figura 5

Sección de cuneta



Fuente: Elaboración propia

Para la cuneta propuesta, se realizó la comprobación de velocidad y caudal máximo mediante la implementación del programa HCanales.

Alcantarillas

Criterios de diseño

El diseño de las alcantarillas se llevó a cabo bajo los criterios de diseño establecidos en las Normas de Alcantarillado de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, los cuales se detallan a continuación:

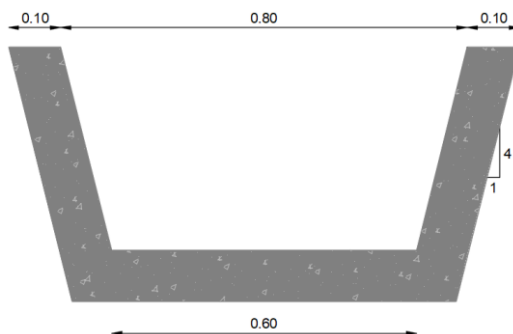
1. Es recomendable emplear pendientes mayores a 0.5%, para evitar azolvamiento.
2. Las alcantarillas serán de tipo circular, con un diámetro de 1.20 m.
3. El material de las alcantarillas es acero.
4. La velocidad mínima puede ser de 0.60 m/s, mientras que, la velocidad máxima, en este caso, puede ser de 9.0 m/s o mayor, debido al material de la tubería.
5. En el diseño hidráulico se debe considerar que la tubería no debe trabajar a toda su capacidad, por lo cual se ha considerado que la relación calado/diámetro sea de 0.8.

Cunetas de coronación

Se presentan taludes de corte en varios tramos, por lo cual es necesario implementar cunetas de coronación. A continuación, se presenta la sección definida.

Figura 6

Dimensión de la cuneta de coronación



Fuente: Elaboración propia

Señalización vial

Señalización vertical

Como señalización vertical, se emplearon señales regulatorias y preventivas, con el fin de prevenir al usuario sobre las características geométricas de la vía.

Señalización horizontal

La señalización horizontal se encuentra representada mediante líneas, símbolos y leyendas; las cuales pueden hallarse ubicadas sobre la calzada o adyacente a esta. Además, pueden emplearse dispositivos complementarios como: demarcadores (tachas, bordillos montables), reductores de velocidad, entre otros (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

En el presente proyecto se han establecido: línea segmentada, doble línea continua (línea de barrera), líneas de borde y tachas.

Impacto ambiental

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la categorización de impactos ambientales en cada fase del proyecto; mismos que fueron determinados a partir de las matrices de evaluación de impactos ambientales.

- En la fase de construcción, los impactos negativos despreciables corresponden al 83%; mientras que, los impactos significativos poseen un valor de 3%, y los impactos benéficos un valor de 14%.
- En la fase de operación, los impactos negativos despreciables corresponden al 77%, y los impactos benéficos poseen un valor de 23%.
- En la fase de cierre y abandono, los impactos negativos despreciables corresponden al 45%, y los impactos benéficos poseen un valor de 55%.

Presupuesto

Los presupuestos para ambas alternativas de pavimento se determinaron en

función de los rubros referentes a grupos de actividades (operaciones preliminares, movimiento de tierras, pavimento, drenaje, señalización y ambientales), análisis de precios unitarios y cantidades de obra.

- El presupuesto referencial de la alternativa correspondiente al pavimento flexible es de \$3784605.41.
- El presupuesto referencial de la alternativa correspondiente al pavimento articulado es de \$3910548.42.

DISCUSIÓN

Para la proyección de tráfico vehicular, con base a la normativa de diseño vial, se determinaron volúmenes de tráfico correspondientes a tráfico generado, por desarrollo y desviado, cada uno correspondiente a un porcentaje del tráfico actual (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003). De tal manera, la proyección de tráfico para 25 años es de 179 veh/día, lo cual indica que se trata de una vía de tipo IV.

Mediante la obtención del límite líquido, plástico e índice de plasticidad se pudo constatar que el suelo perteneciente a la zona de estudio es un suelo limoso de baja plasticidad determinada por la metodología SUCS, usando la metodología AASHTO se pudo establecer que este es un suelo A-4 (suelos limosos no plásticos o moderadamente plásticos), verificando así, que las dos metodologías se inclinan a un mismo tipo de suelo. Otro parámetro importante es el CBR de diseño, debido a que, este valor es un indicador de la capacidad portante de la subrasante (Viscarra, 2006); en este caso, se obtuvo un CBR de diseño de 16.20%, lo cual indica que el suelo posee buenas características en cuanto a capacidad portante. El ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) permite determinar el valor de la cohesión y ángulo de fricción del suelo (Braja, 2011), estos valores se encuentran en un rango de 0.1 – 0.7 kg/cm² y 22° a 29° respectivamente.

Uno de los parámetros de diseño geométrico fundamentales, corresponde a la velocidad de diseño, misma que se halla definida por el TPDA proyectado y las condiciones topográficas del terreno (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003). En este caso, debido al número de vehículos proyectados (179 veh/día) y el relieve montañoso, la velocidad de diseño es de 24 km/h, valor a partir del cual se

definen características geométricas de la vía.

El diseño geométrico vertical se lleva en función de la velocidad de diseño y del diseño horizontal; además de que, las gradientes de las curvas verticales se deben determinar bajo la consideración de facilitar la operación vehicular (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003). De tal manera, la longitud mínima de las curvas cóncavas y convexas es de 15 m; mientras que, la gradiente máxima, debido al relieve montañoso, corresponde a 12%; de igual manera, se consideró una gradiente mínima de 0.5%, con la finalidad de facultar el desplazamiento del agua hacia el sistema de drenaje de la vía.

Para determinar el número estructural de la subrasante, es necesario definir ciertas variables de diseño, tales como: periodo de diseño, TPDA de diseño, factores, serviciabilidad, confiabilidad, desviación normal, desviación estándar, numero de ejes equivalentes, propiedades del suelo (CBR, Modulo resiliente, coeficiente estructural de cada capa) y propiedades de drenaje; para de tal manera, realizar el diseño de la estructura tanto del pavimento articulado (adoquinado) como del pavimento flexible (asfaltado).

El sistema de drenaje vial se constituye como un componente fundamental en el diseño de una vía, ya que permite el adecuado transporte del agua proveniente de escorrentía o infiltración hacia cursos naturales de agua (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003). Por lo tanto, se ha propuesto el diseño de drenaje longitudinal (cunetas), drenaje transversal (alcantarillas) y cunetas de coronación.

La señalización vial tiene por objetivos ordenar y regular el flujo vehicular acorde a las leyes de tránsito vigentes; además, faculta a que los usuarios se mantengan informados en todo momento con respecto al trazado de la vía (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). En el proyecto propuesto se implementó señalización vertical regulatoria y preventiva, con el fin de brindar condiciones de seguridad a los usuarios, ya que la topografía presente en el proyecto es montañoso; mientras que, como señalización horizontal, se implementaron líneas con el fin de delimitar el ancho de carril y las zonas de rebasamiento.

Mediante el desarrollo del estudio de impacto ambiental referente a cada una de las fases del proyecto, se determinó que, durante la ejecución de las actividades de cada fase, no se generarán impactos ambientales de gran magnitud; ya que,

durante la fase construcción, los impactos negativos son de tipo despreciable en un 83%; mientras que, en las fases de operación y de cierre y abandono, se cuenta con impactos negativos de tipo despreciable en 77% y 45.45% respectivamente. Cabe recalcar que, el resto de porcentaje por cada fase corresponde a impactos benéficos para la localidad.

El presupuesto es un punto importante para llevar a cabo cualquier proyecto (Alba et al., 2021), es indispensable verificar y obtener las cantidades de obra además de realizar un buen análisis de precios unitarios, el análisis de precios unitarios por cada rubro se desarrolló acorde a los códigos del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha. Cabe recalcar que, los costos indirectos para este caso corresponden al 22.5%; mientras que, los costos directos se hallan relacionados a: equipos, mano de obra, materiales y transporte. El presupuesto para cada alternativa de pavimento varía de acuerdo a la calidad de materiales y cantidad. Además, las condiciones topográficas son importantes, ya que, al existir taludes sumamente considerables, el costo total del proyecto aumenta debido al corte que se realiza a los mismos, es decir, al haber mayor movimiento de tierra, el presupuesto tiende a subir.

La construcción de la vía permitirá mejorar la calidad de vida de los usuarios que se movilicen desde San Miguel del Quinche hacia Guayllabamba o viceversa, ya que el tiempo de viaje se reducirá; es decir, en la vía actual, el tiempo de recorrido es de 35 minutos a una velocidad de 10 km/h, mientras que, con la vía ya construida, el tiempo de recorrido será de 20 minutos aproximadamente a una velocidad de 24 km/h; por lo cual se observa una mejora en el tiempo. Además, el costo de mantenimiento vehicular (neumáticos, amortiguadores, lubricantes, sistema de frenado) disminuirá por el estado de la vía.

Según el presupuesto la alternativa que se debe escoger es la del pavimento flexible, sin embargo, se debe realizar un análisis económico en el cual interviene el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno), que hace referencia a los ingresos y egresos que genere la vía. En este caso para el pavimento flexible se tiene un VAN= \$1,668,353.37, y para el pavimento articulado un VAN= \$1,729,761.06. En ambas alternativas se evidencia que el VAN posee un valor positivo, lo cual indica que la ejecución del proyecto bajo la elección de cualquier

alternativa de diseño generará beneficios económicos. En cuanto al TIR para el pavimento flexible dio un valor de 39.66% y para la otra alternativa un valor de 37.15%, lo cual significa que, en ambos casos analizados, la TIR se halla por encima de la tasa de descuento establecida por el Banco Central del Ecuador (12%); por lo tanto, la ejecución de ambas alternativas resulta rentable. Y por último, el análisis de la relación beneficio/costo para el pavimento flexible y articulado dio un valor de 1.3825 y 1.4023 respectivamente, en este caso, la relación B/C es mayor a 1, por lo cual se considera que el proyecto es viable para las dos alternativas, ya que generará beneficios económicos.

CONCLUSIONES

La implementación del proyecto vial conllevará al mejoramiento en cuanto a condiciones de desplazamiento para los pobladores de la parroquia Guayllabamba y la comuna San Miguel del Quinche; ya que, se reducirán los costos de operación y el tiempo de recorrido de un punto a otro, bajo condiciones de seguridad.

Mediante el funcionamiento de la vía se prevé que el costo del transporte de productos desde la comuna de San Miguel del Quinche hacia Guayllabamba disminuya; debido que, se contará con una alternativa de desplazamiento directa entre ambas localidades.

El valor de la velocidad de diseño se adopta en función del TPDA del proyecto y el tipo de topografía en el cual se encuentra la vía. Por lo tanto, para el caso de estudio, el valor determinado es de 25 km/h; puesto que, el proyecto se halla en topografía montañosa (pendientes longitudinales entre 8% a 12%) y el TPDA corresponde a 179 veh/día (Vía tipo IV).

Como resultado del estudio de suelos llevado a cabo en laboratorio, se obtuvieron varios parámetros fundamentales para el diseño de la estructura del pavimento y análisis de taludes, tales como: CBR de la subrasante, ángulo de fricción interna y cohesión.

El diseño de la estructura del pavimento se realizó con base a la metodología AASHTO, la cual se basa en la determinación de coeficientes estructurales que representan la resistencia de un pavimento ante un nivel de cargas definido. Por lo tanto, se verificó que el diseño estructural del pavimento por cada alternativa

cumpla con las condiciones de diseño determinadas previamente, mediante la comparación del número estructural del pavimento con respecto al número estructural de la subrasante.

El sistema de drenaje vial se diseñó con base al análisis de la intensidad de lluvia para un periodo de retorno definido, áreas de aportación y el coeficiente de escorrentía según la zona del proyecto. El sistema de drenaje se halla constituido por: cunetas laterales, cunetas de coronación en taludes, subdrenaje y 43 alcantarillas situadas transversalmente a la vía cuyo fin es el de desfogar el agua producto de las precipitaciones hacia un curso natural de agua (Quebrada El Quinche).

En cuanto a la señalización vial, como parte de la señalización vertical, se ha optado por incluir guardavías, con la finalidad de garantizar condiciones de seguridad durante el desplazamiento de los usuarios, ya que la vía se encuentra situada junto a una quebrada a varios metros de profundidad. Dichos implementos fueron situados en la mayoría de las curvas cerradas en la vía.

Tras el desarrollo del estudio de impacto ambiental, se concluye que, la mayoría de las actividades que se llevarán a cabo durante cada fase del proyecto generarán impactos negativos despreciables; por lo cual, los factores ambientales no se verán afectados de forma significativa. Sin embargo, es necesario aplicar medidas de mitigación de impactos ambientales, con la finalidad de mermar o evitar efectos adversos producto de las actividades llevadas a cabo.

Con base al presupuesto referencial de cada alternativa, se evidencia que, el presupuesto de la vía de pavimento flexible (\$3784605.41) es menor al compararlo con la alternativa de pavimento articulado (\$3910548.42); por lo cual, se recomienda llevar a cabo la ejecución de la alternativa de pavimento flexible.

Conflicto de interés

Los autores no tienen conflictos de interés

Financiación

Este proyecto no contó con ninguna fuente de financiación

Responsabilidades Éticas

El proyecto fue aprobado por el comité de ética de la institución.

REFERENCIAS

- Alba, L., Herrera, L., & Esparza, C. (2021). Análisis de costo-beneficio de estrategias de climatización pasiva en vivienda social en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 10, 81–91. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.165>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guía AASHTO para diseño de estructuras de pavimentos*. <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Braja, M. Das. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.
- Gallo, B., Gallo, M., Salinas, N., & Gallo, T. (2021). Impacto ambiental y su vinculación a factores sociales, biológicos y físicos en Perú. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(3), 281–292. <https://doi.org/https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36509>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de El Quinche. (2021). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial El Quinche*. <https://www.elquinche.gob.ec/gad-parroquial/plan-de-desarrollo.html>
- Guayas, A., & Benavides, H. (2020). Análisis de capacidad hidráulica del drenaje vial para condiciones de escurrimiento actuales. *Memorias Del Congreso Internacional de Cambio Climático*, 1, 35–38.
- Hernández, D., Díaz, J., Santos, O., Morciego, H., & García, J. (2022). Métodos de diagnóstico para la evaluación geotécnica de vías urbanas en centros históricos cubanos. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 16, 1–16.
- Huamaní, J., Rimayhuaman, O., & Tito, X. (2022). Influencia del mantenimiento vial y satisfacción del usuario. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 1876–1896. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3202
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Señalización vial. Parte 2. Señalización horizontal*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras*. https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf

Monge, A., & Garrido, C. (2019). *Impacto de la infraestructura vial sobre la educación rural.*

https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/2655/MongeAnny_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ospina, G. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. *Revista de Ingeniería*, 44, 20–27.

Rodríguez, Y., García, R., & Gálvez, L. (2023). Procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles, Cuba. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 17, 1–15.

Sánchez, M., Marrero, D., & Tejeda, E. (2020). Propuesta de espesores mínimos de superficie y coeficientes de equivalencia de espesores para el diseño de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 20(1), 1–15.

Viscarra, F. (2006). *El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.* <http://civil.upb.edu/files/2010/11/EL-CONO-DIN%C3%81MICO-DE-PENETRACI%C3%93N-Y-SU-APLICACI%C3%93N-EN-LA-EVALUACI%C3%93N-DE-SUELOS.pdf>