

**“DEFINICIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN EL TÚNEL VIAL MISAEL
PASTRANA BORRERO”**

**MICHELLE PAOLA PEREZ PALACIOS
DIANA MARIA SILVA MANRIQUE**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2007**

**“DEFINICIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN EL TÚNEL VIAL MISAEL
PASTRANA BORRERO”**

**MICHELLE PAOLA PEREZ PALACIOS
DIANA MARIA SILVA MANRIQUE**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Civil.**

**Director temático
Ing. Guillermo León Cortes Quintero**

**Asesora metodológica
Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2007

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 5 Septiembre de 2007

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso quien me da las fortalezas para vivir, a mi papá Alipio mi gran impulsador de superación y perseverancia, a mi mamá Marleny por su cariño incondicional, a mi abuela Fanny mi ejemplo a seguir, a mi tía Olga Lucia Esposo e Hijas por su gran apoyo, a mi hija Valentina el mayor tesoro de mi vida, a mi novio Diego Alejandro por estar a mi lado siempre brindándome su amor ya que con su compañía y comprensión hace que todos los días crezca como persona, gracias a todos por estar siempre cuando más los he necesitado.

Diana María Silva Manrique

DEDICATORIA

Primero que todo Agradezco a Dios, quien con su grandeza hace que día a día sea mejor persona y valore todas las cosas lindas que me da. A mi mamá Susana quien con su gran esfuerzo y amor me ha sacado adelante. A mi papá quien desde el cielo me cuida y dejó en mi un ejemplo a seguir. A mis tres hermanas Patricia, Rocio y Edna quienes con su amor, apoyo y constancia me dieron un gran ejemplo de responsabilidad y perseverancia para seguir adelante. A mi gran Amor Leonardo quien con su amor y respeto me mostró las cosas valiosas de una relación y de la vida. Y a todas aquellas personas que han estado junto a mi en los malos, buenos momentos y han aportado algo valioso para mi futuro

Michelle Paola Pérez Palacios

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Nuestro director GUILLERMO LEÓN CORTES QUINTERO por su gran colaboración en el desarrollo del proyecto de Investigación acompañandonos en la realización de todos los pasos para realizar este trabajo.

Al doctor ADOLFO CAMILO TORRES PRADA por ser un gran impulsador a el desarrollo de nuevos temas de investigación en el ámbito de Túneles y Obras Subterráneas.

A la licenciada ROSA AMPARO RUIZ SARAY, por su asesoría y atención en el desarrollo del trabajo de investigación.

A la UNIVERSIDAD DE LA SALLE por brindarnos la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y educarnos para ser profesionales íntegros, responsables y competentes en el ambito profesional.

Al Ingeniero JULIAN GÓMEZ gerente operativo del Túnel vial Misael Pastrana Borrero Consecionaria Vial COVIANDES, por su gran ayuda en el suministro de información básica.

A todos aquellos que de una u otra forma nos brindaron su apoyo y sus conocimientos, para la elaboración y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. EL PROBLEMA	17
1.1 LÍNEA	17
1.2 TÍTULO	17
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.5 JUSTIFICACIÓN	20
1.6 OBJETIVOS	21
1.6.1 Objetivo general	21
1.6.2 Objetivos específicos	21
2. MARCO REFERENCIAL	23
2.1 MARCO TEORICO.	23
2.1.1 Nivel de Servicio	23
2.1.2 Capacidad	26
2.1.3 Tránsito	26
2.2 MARCO CONCEPTUAL	27
2.2.1 Sistemas de control en el Túnel Misael Pastrana Borrero	27
2.2.2 Planta y calzada del túnel	28
2.2.3 Sección transversal	28
2.2.4 Pendientes	28
2.2.5 Topografía	28
2.2.6 Infraestructuras de seguridad	28
2.2.7 Iluminación en túneles	30

2.2.8 Restricciones para la circulación de vehículos en los túneles	33
2.2.9 Prohibiciones para la circulación de vehículos en los túneles	35
2.3 MARCO NORMATIVO	36
2.4 MARCO CONTEXTUAL	36
3. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR	38
3.1 FLUJOGRAMA METODOLOGICO	40
3.2 OBJETO DE ESTUDIO	41
3.3 INSTRUMENTOS	41
3.4 VARIABLES	41
3.5 COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACION	41
3.5.1 Recursos materiales	41
3.5.2 Recursos institucionales	42
3.5.3 Recursos tecnológicos	42
3.5.4 Recursos humanos	43
3.5.5 Otros recursos	44
3.5.6 Recursos financieros	44
4. TRABAJO INGENIERIL	46
4.1 CARACTERISTICAS DEL TRAMO TUNEL BUENAVISTA	46
4.1.1 Descripción general	47
4.1.2 Vía de acceso	47
4.1.3 Portal de entrada	47
4.1.4 Cuerpo del túnel	47
4.1.5 Características de la vía	48
4.1.6 Características del tránsito	48
4.2 PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDADES Y NIVELES DE SERVICIOS (MANUAL DEL CAUCA)	49
4.2.1 Tramo sin túnel componente completo de vehículos que transitan en la vía (Tránsito cuesta arriba 66% y 34%)	49

4.2.1.1 Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos sin tener en cuenta variaciones aleatorias	50
4.2.1.2 Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, teniendo en cuenta las variaciones del volumen durante el periodo de cinco minutos de la hora pico	50
4.2.1.3 Cálculo del nivel de servicio	51
4.2.1.4 Nivel de servicio	53
4.2.2 Análisis de capacidad y niveles de servicio del tramo sin túnel con componente completo de vehículos que transitan en la vía (tránsitos cuesta arriba de 66 y 34)	54
4.2.2.1 Cálculo de la capacidad	54
4.2.2.2 Cálculo del nivel de servicio	55
4.2.3 Tramo sin túnel componente de vehículos que entran al túnel (tránsito cuesta arriba 66% y 34%)	56
4.2.3.1 Cálculo del nivel de servicio	56
4.2.3.2 Nivel de servicio	57
4.2.4 Tramo con túnel componente de vehículos que transitan en la vía (tránsito cuesta arriba 66% y 34%)	58
4.2.4.1 Cálculo del nivel de servicio	58
4.2.4.1 Nivel de servicio	59
4.2.5 Tramo con túnel componente completo de vehículos que entran al túnel (transito cuesta arriba 66%y 34%)	60
4.2.5.1 Calculo del nivel de servicio	60
4.2.5.2 Nivel de servicio	61
4.3 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA TÚNELES	62
4.4 ESTUDIO DE CAPACIDAD PARA EL TUNEL BUENAVISTA	65
4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DENTRO DEL TÚNEL BUENAVISTA	66
4.5.1 Factor No 1: aspecto psicológico de los conductores en un túnel	73
4.5.1.1 Respuestas de los conductores de vehículos livianos	73

4.5.1.2 Respuestas de los conductores de buses intermunicipales	74
4.5.1.3 Respuestas de los conductores de camiones	75
4.5.1.4 Porcentajes mayores de la encuesta hecha a los conductores, entre los diferentes vehículos (livianos, buses, pesados)	76
4.5.1.5 Respuestas sobresalientes de la encuesta aspectos psicológicos en conductores	77
4.5.2 Factor No 2: iluminación	78
4.5.2.1 Sistema de iluminación en el Túnel MISAEL PASTRANA BORRERO	78
4.5.2.2 Iluminación entrada Bogotá-Villavicencio	79
4.5.2.3 Iluminación entrada Villavicencio Bogotá	79
4.5.2.4 Zonas de Iluminación en el Túnel Buenavista	80
4.5.2.5 Velocidades y luminancia utilizadas en las diferentes zonas del túnel MISAEL PASTRANA BORRERO	81
4.5.3 Factor No 3: Restricciones Laterales	82
4.6 AFECTACION DE LA VELOCIDAD MEDIA DE RECORRIDO A CAUSA DE LOS FACTORES DE REDUCCION PRODUCIDOS POR EL TÚNEL	85
4.6.1 FACTORES DE REDUCCIÓN CALCULADOS	85
4.6.2 RESULTADOS ANALISIS DE NIVEL DE SERVICIO EN EL TÚNEL VIAL MISAEL PASTRANA BORRERO	86
5. CONCLUSIONES	87
6. RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFIA	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Antecedentes de la investigación	19
Tabla 2. Sistemas de control Túnel Buenavista.	27
Tabla 3. Condiciones necesarias de iluminación en un túnel	31
Tabla 4. Marco normativo de la investigación	36
Tabla 5. Obras vía Bogotá-Villavicencio	37
Tabla 6. Identificación de variables	41
Tabla 7. Presupuesto de recursos materiales	42
Tabla 8. Presupuesto de recursos tecnológicos	43
Tabla 9. Presupuesto de recursos humanos	43
Tabla 10. Presupuesto de viáticos	44
Tabla 11. Presupuesto de transporte	44
Tabla 12. Presupuesto recursos financieros	45
Tabla 13. Descripción general del túnel Buenavista	47
Tabla 14. Tipos de accesos del túnel Buenavista	47
Tabla 15. Portal de entrada	47
Tabla 16. Cuerpo del túnel	47
Tabla 17. Características del tránsito	48
Tabla 18. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente completo	54
Tabla 19. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente completo	54
Tabla 20. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente completo	55

Tabla 21. Cálculo del nivel de servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente completo	55
Tabla 22. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel	56
Tabla 23. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel	56
Tabla 24. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel	57
Tabla 25. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel	57
Tabla 26. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, con túnel componente completo	58
Tabla 27. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, con túnel componente completo	58
Tabla 28. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel	59
Tabla 29. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel	59
Tabla 30. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel	60
Tabla 31. Cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel	60
Tabla 32. Cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel	61
Tabla 33. calculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel	61
Tabla 34. Requerimientos mínimos para túneles	62
Tabla 35. Datos de Tránsito promedio anual dentro del túnel Buenavista	68
Tabla 36. Regresión Lineal del tráfico promedio anual del túnel Buenavista	68

Tabla 37. Regresión exponencial del tráfico promedio anual del túnel Buenavista	69
Tabla 38. Control de trafico y señalización en el túnel Buenavista	71
Tabla 39. Respuesta de la encuesta de los conductores de vehículos livianos	73
Tabla 40. Respuesta de la encuesta de los conductores de buses intermunicipales	74
Tabla 41. Respuesta de la encuesta de los conductores de camiones	75
Tabla 42. Mayores Respuestas de la encuesta hecha a los conductores	76
Tabla 43. Respuesta sobresalientes de la encuesta	77
Tabla 44. Velocidades manejadas en el túnel por los conductores	77
Tabla 45. Iluminación túnel Buenavista entrada Bogotá-Villavicencio	79
Tabla 46. Iluminación túnel Buenavista entrada Villavicencio-Bogotá	79
Tabla 47. Velocidades y luminancia túnel Buenavista Bogotá-Villavicencio	81
Tabla 48. Velocidades y luminancia túnel Buenavista Villavicencio- Bogotá	81
Tabla 49. Restricción Lateral (paredes) Túnel Buenavista	83
Tabla 50. Número de personas por pregunta estudio de restricciones laterales en el túnel Buenavista	84
Tabla 51. Factores de reducción en cada distribución	85
Tabla 52. Velocidades medias encontradas en el estudio de nivel de servicio Túnel vial Buenavista	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zonas de Iluminación en un túnel vial	31
Figura 2. Proyección del transito al año 2032	70
Figura 3. Resultados encuesta vehículos livianos	74
Figura 4. Resultados encuesta vehículos intermunicipales	75
Figura 5. Resultados encuesta camiones	76
Figura 6. Respuestas sobresalientes de la encuesta	77
Figura 7. Producción propia datos COVIANDES Túnel Buenavista	80
Figura 8. Gradiente luminancia vs Velocidad	82
Figura 9. Estudio paredes laterales	84

INTRODUCCIÓN

El Concepto de Seguridad es fundamentalmente subjetivo y depende de la sensación que cada persona experimenta en una determinada situación. En el caso particular de un túnel, ésta convicción debe estar presente en todas las personas que lo recorren durante el tiempo que dure el viaje en su interior, teniendo presente que éste debe de ser uno de los objetivos principales de los ingenieros que lo proyecten, del constructor y del equipo humano que lo explote.

En túneles a partir de una determinada longitud se cumple esta condición de seguridad total, pero el número de personas que no tienen esta sensación crece, ya que la longitud de la obra a recorrer, el tipo, la abundancia de las instalaciones y equipamientos de que dispone no son los correspondientes.

Algunos métodos de análisis justifican el comportamiento de los usuarios en base de variables como la noción del tiempo recorrido, la previsión del recorrido próximo inmediato, la adaptación del comportamiento a las circunstancias percibidas, pero todos están de acuerdo con la idea de que un factor importante lo constituye el poder informar al usuario sobre las condiciones de circulación y las variaciones normales del nivel de servicio.

En el primer capítulo de esta investigación se hace referencia a la descripción y formulación del problema donde se dan a conocer los factores que afectan las condiciones del flujo vehicular y donde se justifica el porqué se hizo este proyecto.

En el segundo capítulo se da a conocer el tema principal, los subtemas y el marco contextual.

En el capítulo tres se realizó el diseño metodológico preliminar en donde se expone cuatro fases cada una de estas con sus respectivas actividades que van desde la recolección de datos hasta la conclusión misma del proyecto, aquí mismo se dan a conocer los costos totales del proyecto hasta la terminación.

El proyecto de investigación sobre la definición del nivel de servicio del flujo vehicular en el túnel vial Misael Pastrana Borrero, es un trabajo que busca conocer las características de servicio de un túnel vial. El objetivo central de la investigación es explorar cuál es el nivel de servicio que brinda un túnel de gran longitud a sus usuarios cumpliendo con los requisitos de diseño y normatividad. La investigación se abordó desde la formulación del problema, los objetivos, el marco referencial, diseño metodológico, análisis de la información, conclusiones y recomendaciones.

1. PROBLEMA

1.1 LÍNEA

Línea de Investigación: Seguridad vial.

Grupo de investigación: Desarrollo Tecnológico – INDETEC.

En el campo de la seguridad vial se propusieron métodos de análisis para justificar el comportamiento de los usuarios sobre las condiciones de circulación y las posibles variaciones que se presentan dentro de un túnel vial relacionadas con requisitos necesarios de seguridad y servicio, es por ello que al realizar una estimación en la calidad del servicio dentro del túnel vial Misael Pastrana Borrero se pudo estudiar algunas variables las cuales contribuyen a definir un nivel de servicio adecuado y a mejorar la seguridad vial dentro del túnel.

1.2 TÍTULO

“DEFINICIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN EL TÚNEL VIAL MISAE
PASTRANA BORRERO”

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como parte del problema, en Colombia no existe una propuesta de niveles de servicio en túneles y esto es muy importante ya que al construirlos se deben tener bien claros los parámetros de seguridad y de servicio funcional que éstos brindarían a los futuros usuarios a lo largo de todo el periodo de diseño o vida útil del proyecto.

En la construcción del túnel, Misael Pastrana Borrero, el Gobierno nacional invirtió 161 mil millones de pesos en obra y 11 mil millones más en la interventoría.

Esta obra cuenta con un sistema de ventilación de tipo longitudinal y adicionalmente, tiene un sistema de monitoreo permanente que permite reaccionar ante cualquier emergencia que se pueda presentar en el interior del túnel.

La construcción del túnel fue entregada en julio de 1994 al consorcio Recchi S.P.A. Costruzioni Generali – Grandi Lavori Fincosit S.P.A. y la obra subterránea se inició en el frente Trapiche el 19 de octubre de 1995. En el frente Rionegro, los trabajos se iniciaron el 27 de noviembre de ese mismo año.

En febrero de 1998, el INVIAS declaró la urgencia manifiesta para la terminación del túnel mediante Resolución 00452 y empezó a negociar el

contrato de obra con la firma Conconcreto S. A., la cual finalmente se encargó de la terminación de la obra e inició los trabajos el 27 de marzo de ese año y concluyó en el segundo trimestre del año siguiente.

Con la construcción de este túnel se desarrolló un gran proyecto en infraestructura vial en Colombia implicando así todas las variables de diseño, servicio y seguridad en túneles viales, lo cual conlleva a emprender un estudio global para establecer los parámetros que intervienen en el nivel de servicio dentro del túnel y tener una base sobre el adecuado manejo de servicio en los futuros túneles viales de grandes longitudes a construir.

Tabla 1. Antecedentes de la investigación.

AUTOR	AÑO	TITULO	COMENTARIO
Location and Design Manual, Vol. 1, Roadway Design, Ohio DOT	1995	CONTROLES DE DISEÑO	Para diseñar los elementos básicos de una carretera, incluyendo su alineamiento y sección transversal, el proyectista debe comprender los controles y criterios básicos de diseño asociados con la carretera.
SEMINARIO INTERNACIONAL OPERACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES CARRETEROS NUEVO Y EXISTENTES	2000	APLICACIÓN DE NUEVOS CRITERIOS DE SEGURIDAD EN TÚNELES EN SURAMÉRICA	Se elaboró el presente estudio con el fin de realizar un análisis de los requerimientos mínimos de normas internacionales actuales y conclusión para el diseño de nuevos túneles.
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, UNIVERSIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE TRANSPORTE	1996	MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS	Este manual contiene un procedimiento de análisis que proporciona información y estimaciones sobre el

			comportamiento operacional de una carretera de dos carriles en Colombia, con base en condiciones conocidas de la vía y del tránsito, observadas en un gran número de carreteras del país. Específicamente calcula la capacidad y el nivel de servicio de sectores de ese tipo de vías
--	--	--	---

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera se puede estimar la calidad en el servicio en las condiciones de circulación de una corriente vehicular dentro del túnel vial Misael Pastrana?

1.5 JUSTIFICACIÓN

Se hizo imperiosa la búsqueda de información que permitiera tomar decisiones para observar la calidad del flujo vehicular en el túnel, es por ello que se precisó en aspectos relevantes e importantes, que permitieron estar al tanto de la situación actual que posee el túnel.

Cualquier medida que se quiera adoptar para la protección de este tipo de infraestructuras, con la adecuada dotación de instalaciones y equipamientos de seguridad, se le brinda a los usuarios un mejor servicio y con ello una mejor calidad en el flujo vehicular dentro del túnel, es por ello que al realizar esta investigación de niveles de servicio en el túnel vial Misael Pastrana para las condiciones colombianas se definió el verdadero propósito que este túnel tan

importante en Latinoamérica, está prestando y se proponen las mejoras que podrían recibir a futuro los que están en proceso de construcción en cuanto a nivel de servicio.

Es de precisar que se consideró importante realizar el presente trabajo debido a la carencia de información actualizada sobre estos niveles, la deficiencia en los sistemas de información, la necesidad de explorar su contribución en el entorno social, además el impacto en el medio.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Definir el nivel de servicio del flujo vehicular en el túnel vial Misael Pastrana Borrero.

1.6.2 Objetivos específicos

- ❖ Analizar las condiciones geométricas y de operación del túnel Misael Pastrana Borrero.

- ❖ Analizar la capacidad y nivel de servicio para un tramo de carretera a fin de conocer las variables con y sin túnel.

- ❖ Determinar qué factores influyen en el tránsito dentro de un túnel de gran longitud.

- ❖ Definir el nivel de servicio y la aplicabilidad que ha tenido en el túnel Misael Pastrana Borrero.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

Al desear conocer el adecuado nivel de servicio en un túnel como el Misael Pastrana Borrero, fue conveniente aproximarse al tema desde varios aspectos: como lo son el nivel de servicio, la capacidad, y el tránsito. También fue necesario esbozar la concepción que se tenía sobre el túnel estudiado ya que este es uno de los más largos de nuestro país y requirió un estudio muy detallado para comprobar los aspectos relacionados anteriormente.

2.1.1 Nivel de servicio. Medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de una corriente vehicular, caracterizada generalmente por ciertos parámetros como velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad.

Aunque el nivel de servicio es una medida cualitativa, se define por medio de un parámetro numérico tal como la velocidad media o la densidad, y a veces por más de un parámetro. En el nivel de servicio influye la intensidad de la interacción vehicular, las condiciones de la vía y su entorno, y la calidad de la regulación y señalización vial.

³En Colombia existen seis niveles de servicio definidos de la siguiente forma:

- **Nivel de servicio A.** Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona.

- **Nivel de servicio B.** Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno.

- **Nivel de servicio C.** Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos,

³ Manual de Capacidad y Niveles, Instituto Nacional de Vías y Universidad del Cauca segunda versión, Popayán.1996

deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado.

- **Nivel de servicio D.** El flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.

- **Nivel de servicio E.** Representa la circulación a capacidad cuando las velocidades son bajas pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a capacidad, en condiciones de inseguridad.

- **Nivel de servicio F.** Representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas

y las operaciones dentro de éstas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente.

2.1.2 Capacidad. Máximo número de vehículos que de manera razonable se pueda esperar pasen por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado, en condiciones sobresalientes de vía, tránsito y control

El estudio de la capacidad vial en un tramo de vía es un instrumento básico para el análisis del tránsito ya que permite comprender las posibilidades de los distintos tipos de infraestructura vial para sobrellevar el tránsito con fluidez.

Anteriormente se hablaba de un volumen máximo posible, que es el mayor número de vehículos que puede pasar por un punto de una calzada, carril o carriles, en ciertas condiciones y en un momento dado, siendo este un factor muy variable. Este volumen, aunque es apropiado para hacer análisis de circulación, debido a su extrema variabilidad no se presta muy bien para el diseño de vías.

2.1.3 Tránsito. Indica el tipo de servicio vehicular que la vía utiliza y afecta directamente las características geométricas del diseño. Es indispensable para

controlar el tráfico en condiciones normales y de emergencia, un sistema de señalización compuesto por semáforos, señales de tráfico, contadores de tráfico, controladores de altura. Para ello es necesario realizar cálculos acerca de la capacidad de tráfico en años futuros para que la ventilación y capacidad geométrica propia del túnel no se vean afectadas y el nivel de servicio se encuentre óptimo.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Sistemas de control en el Túnel Misael Pastrana Borrero

Tabla 2. Sistemas de Control Túnel Buenavista

SISTEMA	DESCRIPCION	ELEMENTOS
Control y Supervisión	Se hace desde el centro de control con la utilización de un sistema que efectuará la operación manual de los elementos. Actúa sobre los sistemas de: Potencia, distribución, iluminación, ventilación, control de tráfico, señalización, sistema de incendio	Sala de control, pulsadores, alarmas, luces de indicación
Control de tráfico y señalización	Controla el flujo automotriz disminuyendo la velocidad en caso de accidente.	Semáforos, contadores de tráfico, señales de tránsito
Detección de tráfico	Determina anticipadamente el caudal de aire fresco requerido para la ventilación e informan sobre congestiones de vehículos. Realiza los cálculos de intensidad de tráfico, la velocidad y el conteo de vehículos (promedio).	Sensores instalados en el pavimento
Control de Altura	Utilizado para controlar la altura máxima permitida para los vehículos	Detector de altura máxima
Detección y alarmas contra incendio	Garantiza la protección de los túneles, detectando cualquier incendio en su fase inicial transmitiendo en forma automática la señal de alarma, la cual alerta a la brigada de incendio y bomberos, coloca en movimiento automáticamente el sistema de ventilación	Detectores de humo, térmicos, pulsadores manuales, centrales locales de incendio
Alimentación energía no Interrumpida (ups)	Garantiza un servicio continuo en el suministro de energía en el túnel	Banco de baterías, cargador, inversor, interruptor
Auxilio S.O.S.	Ayuda en labores de auxilio dentro del túnel en condiciones de	Unidades de

	incendio, accidentes o problemas de vehículos.	auxilio, Brigada motorizada de vigilancia, cables.
Ventilación Longitudinal	Su objetivo es diluir mediante un caudal de aire los contaminantes que emiten los motores de los vehículos a concentraciones que estén por debajo de los límites admisibles, para no causar trastornos fisiológicos a los usuarios, ni disminuir la visibilidad por debajo de la distancia mínima de frenado requerida por los vehículos.	Ventiladores, detectores de humo
Iluminación	Permite visibilidad adecuada de las zonas de transición	Luces, Potencias

2.2.2 Planta y calzada en un túnel. El trazado, en principio, viene condicionado por el carácter unidireccional o bidireccional del tráfico en el túnel.¹ Se recomienda elegir la inclinación y longitud de las rampas en los túneles de forma que no sean necesarios carriles adicionales. El trazado en alzado se hará de forma que en toda la longitud del túnel, la velocidad de los vehículos pesados. no baje por debajo de los 60 km/h y, en caso de túneles bidireccionales, se prohíben inclinaciones de rasantes mayores del 3%, aun cuando la longitud del túnel sea mayor de 500 m, lo que es nuestro caso, la experiencia aconseja no pasar del 2 %, siendo preciso además establecer una combinación de trazado en planta y en alzado que sea armónico con los problemas derivados de la construcción, explotación y conservación de la obra.

Además de las pendientes superiores al 3% inciden en el desplazamiento de los vehículos comerciales y hasta necesario su análisis frente a la longitud crítica de pendiente. Lo cual afecta la velocidad y por ende el nivel de servicio. En todos los túneles es conveniente una rampa mínima que nos permita eliminar el agua que procede del macizo rocoso, limitándose ésta al 0,5 %.

¹ Norma de trazado 3.1 I.C. Revista del Estado. Madrid, 27 de Diciembre de 1999. Arias-Salgado Montalvo

2.2.3 Sección transversal. Para túneles de más de 500 m de longitud se distinguen las carreteras de calzadas separadas con dos o con tres carriles de las carreteras con calzada única que sean vías rápidas o carreteras convencionales.

2.2.4 Pendientes. Pueden producir variaciones en la velocidad de operación de los vehículos. Si la pendiente es cero, es decir, si el tramo es horizontal, afecta la velocidad, si es negativa, es decir, que baja en el sentido abscisado, los conductores tienen que reducir la velocidad por razones de seguridad, y si es positiva, o sea que sube en el sentido considerado, la componente del peso del vehículo paralela a la superficie considerado, la componente del peso del vehículo paralela a la superficie de la vía se opone a la fuerza de tracción, lo cual hace que especialmente los vehículos pesados reduzcan su velocidad.

2.2.5 Topografía. Factor principal de la localización física de la vía, pues afecta su alineamiento horizontal, sus pendientes, sus distancias de visibilidad y sus secciones transversales.

2.2.6 Infraestructuras de seguridad.

- Nichos de seguridad. constituidos por pequeños recintos de longitud doble que su anchura y una altura de 2,50 m. Están equipados con detectores de opacidad, cuadros eléctricos, postes S.O.S. y extintores.

- Nichos contra incendios. tienen las mismas dimensiones que los anteriores y están dotados de postes S.O.S., extintores, cuadros eléctricos, analizadores de CO e hidrante. Suelen estar situados frente a los anteriores y la distancia entre ellos suele ser de unos 200 metros.
- Abrigos (Refugios). son recintos capaces de albergar un número de personas variable entre 50 y 100, que ofrecen seguridad ante un incidente y constituyen un lugar de espera hasta que puedan ser evacuadas.
- Galerías de retorno. Estas infraestructuras tienen una sección transversal igual a la del túnel, su disposición es perpendicular a él y tienen una longitud suficiente para permitir entrar un camión de gran longitud.
- Apartaderos. Se suelen colocar en la margen derecha de la circulación del túnel. Sus dimensiones suelen ser de unos 3 metros de ancho por 30 m de longitud o algo más. Permiten hacer las funciones de las galerías de retorno y apartar de la circulación un vehículo averiado en sus proximidades, en estas condiciones tienen la ventaja de no tener que señalizar el vehículo parado por lo que no tiene afección a la circulación.
- Galerías de evacuación. Las infraestructuras para la evacuación y protección de los usuarios así como para el acceso de los equipos de socorro constituyen un elemento de seguridad esencial.

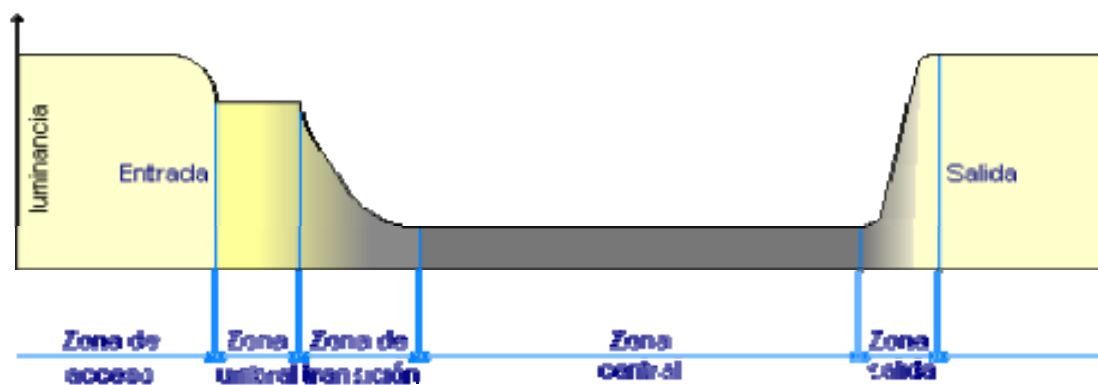
2.2.7 Iluminación en túneles : Tiene por objeto asegurar el mantenimiento de la percepción visual durante todo el recorrido y en todas las circunstancias de

situación geográfica de luminosidad diurna o nocturna¹³, proporcionando condiciones de seguridad, visibilidad, economía y fluidez adecuadas para el tráfico que transita dentro del túnel.

Tabla 3. Condiciones necesarias de iluminación en un túnel

	CONDICIONES NECESARIAS
ILUMINACIÓN A PLENA INTENSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horario diurno ▪ Alto flujo de vehículos ▪ Todas las luminarias prendidas, incluyendo las de las zonas de adaptación
ILUMINACIÓN DIURNA A MEDIA INTENSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horario diurno ▪ Bajo flujo de vehículos ▪ Nivel de iluminación se reduce a la mitad
ILUMINACIÓN NOCTURNA A MEDIA INTENSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horario nocturno ▪ Alto flujo de vehículos ▪ Cada tercera luminaria debe estar a media intensidad y las de la zona de adaptación deberán estar apagadas
ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una de las tres luminarias deberá permanecer encendida a media intensidad alimentada por UPS de la zona

Figura 1 Zonas de Iluminación en un túnel vial¹⁴



¹³ II Simposio de túneles. Explotación, Seguridad, Conservación y Reparación. Jaca, mayo 1998

¹⁴ <http://www.iberpistas.es/pdfs/seguridad%20tuneles%20profesionales>

Entrando al túnel en la parte central es conveniente que las paredes tengan una luminancia por lo menos igual a la de la calzada ya que es donde se encuentra mayor oscuridad hasta llegar a la salida donde la iluminación no es tan crítica porque la visión se adapta de mejor manera al paso de ambientes oscuros a claros.

- **Zona de acceso**

Es la parte de la carretera delante del portal del túnel, con una longitud comprendida entre los 100 y 200m.

- **Zona umbral**

Comprende desde el portal hasta lo que se considera el final de la entrada. La luminancia en esta zona puede llegar hasta 8000 cd/m^2 , con una longitud de al menos igual a la distancia de frenado la cual esta en función de la velocidad.

- **Zona de transición**

Se suele dividir en tres tramos de luminancia constante cuya relación debe estar comprendida entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$. Deberá ser lo suficientemente larga como para permitir un adecuado tiempo de adaptación desde la claridad abierta del exterior a la iluminación interior.

El usuario tarda mas o menos 15 segundos de pasar de 8000 cd/m² a 15 cd/m².

- **Zona central**

Va directamente después de la zona de transición su nivel de luminancia es constante, lo cual requiere un menor nivel de luminancia. Es recomendable tener un mínimo de 15 cd/m² de luminancia, pero en túneles muy largos o con un límite de velocidad muy bajo se acepta una luminancia de 5 a 10 cd/m².

- **Zona de salida**

Se ve afectada por el brillo exterior. Comienza en el final de la zona central y termina en el portal de salida del túnel. Iluminancias menos exigentes que a la entrada. Al hacer la iluminación en esta zona simétrica con la entrada se puede utilizar el túnel para el tráfico en ambas direcciones.

2.2.8 Restricciones para la circulación de vehículos en los túneles

- **Velocidad máxima.** La velocidad máxima permitida dentro de los túneles es de 60 km/hora. En todo caso, el usuario deberá estar atento a los mensajes emitidos en las pantallas de mensaje y siempre se deberá respetar

el límite de velocidad que se establezca en ellas, de acuerdo con las condiciones de operación y servicio de los túneles.

- **Dimensiones máximas permitidas de los vehículos y su carga.**

Ancho máximo permitido = 2,6 metros

Altura máxima permitida = 4,4 metros

- **Volumen máximo de tráfico en los dos sentidos.** El volumen máximo de tráfico dentro del túnel en los dos sentidos, es de 1136 vehículos/hora.

- **Volumen máximo de tráfico en un solo sentido.** El volumen máximo de tráfico dentro del túnel en un solo sentido, es de 767 vehículos/hora.

- **Volumen máximo de vehículos en el túnel.** El número máximo de vehículos simultáneamente dentro de los túneles, es de 107 vehículos.

- **Volumen máximo de vehículo sobre un carril.** El número máximo de vehículos simultáneamente sobre un carril, es de 72 vehículos, tomando la distribución de 66% los carros irán a una distancia de 63m.
- **Volumen máximo entre dos semáforos consecutivos.** El número máximo de vehículos entre dos semáforos consecutivos, es de 6 vehículos.

2.2.9 Prohibiciones para la circulación de vehículos en los túneles

Queda prohibida la circulación dentro de los túneles de los vehículos que transporten cargas extrapesadas y/o extradimensionadas, materiales explosivos, disolventes, combustibles, aceites, grasas, pinturas, llantas, arena, escombros y cascarilla de arroz.

Adicionalmente queda prohibido el tránsito por los túneles de:

- Peatones.
- Motocicletas.
- Bicicletas.
- Vehículos de tracción animal.
- Vehículos en labores de aprendizaje de conducción

El adelantamiento de vehículos dentro de los túneles está prohibido. El usuario deberá cumplir con la señal horizontal de línea amarilla que indica el eje central de la vía y en ningún sentido se puede adelantar. El operador del túnel mediante el sistema de circuito cerrado de televisión registrará e informará a la Policía de Carreteras cualquier trasgresión a las regulaciones de tráfico en los portales de Rionegro y Trapiche.

2.3 MARCO NORMATIVO

Tabla 4. Marco normativo de la investigación

TITULO	COMENTARIO
FONDATT (Fondo de Educación y Seguridad Vial) con la Empresa CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C.	Manual de Planeación de Tránsito y Transporte en el cual se encuentra un estudio sobre seguridad vial.
Manual de Capacidad Americano Highway Capacity Manual - HCM de 2000)	Contiene la normatividad adecuada para el estudio de la capacidad en carreteras
Manual de planeación y diseño	Se encuentra la administración correspondiente al tránsito y transporte de vías públicas
PIARC (Permanent International Association of Road Congresses)	Asociación encargada del control de carreteras encontrando la mejor utilización para los túneles.

2.4 MARCO CONTEXTUAL

Concreto S.A. ejecutó esta obra, cuya factibilidad estuvo en entredicho durante mucho tiempo debido a las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso que conforma la Cordillera Oriental, construida con una sección

transversal de excavación de 76m², un volumen excavado de 261.973m³ aproximadamente y un total de concretos de más de 70.000m³

Dentro del proyecto vial Buenaventura-Arauca, este túnel uno de los más largos en servicio de Latinoamérica con una longitud de 4.560m incluidos los portales, significó una reducción de hora y media en el desplazamiento entre Bogotá-Villavicencio y facilitó la salida y comercialización de los productos de los Llanos Orientales hacia el Pacífico, también la conexión entre Ecuador Colombia y Venezuela.

Tabla 5. Obras vía Bogotá-Villavicencio

OBRAS IMPORTANTES VÍA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO	
Túnel Argelino Durán Quintero (El Boquerón)	Ejecutado por el consorcio colombo-español, Dragados y Construcciones. Longitud de 2.4 Kilómetros con un costo de 65.000 millones de pesos.
Túnel Misael Pastrana Borrero (Buenavista)	Ejecutado por Conconcreto S.A. Longitud de 4.6 Kilómetros, catalogado uno de los más largos y modernos de Latinoamérica, su costo ascendió a 171.479 millones de pesos.
Puente de Chirajara	El Viaducto de Chirajara hace parte del proyecto por Concesión de la Malla Vial del Meta iniciado en Agosto de 1994. Este viaducto consta de cuatro luces y trazado curvo.
Puente de Pipiral	El Viaducto tiene una longitud de 545 m conformado por siete luces, dos de 22.5 m, dos de 62.5 m y tres de 125 m.

La vía actualmente presenta algunos problemas geológicos que están siendo tratados por Instituto Nacional de Concesiones, Inco, y por el concesionario.

Estos túneles cuentan con equipos especializados de control y supervisión, con tecnología de punta que permiten un tránsito cómodo y seguro.

3. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR

El proyecto hace referencia a un estudio exploratorio donde el autor Dankhe expone que

“Los estudios exploratorios se efectúan normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Los estudios exploratorios sirven para familiarizarnos con fenómenos desconocidos, obtener la información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación mas completa sobre el contexto.”¹¹

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron actividades en un orden lógico consiguiendo el material adecuado que permitió determinar las condiciones viales en el túnel Buenavista y con ello desarrollar de la mejor manera el tema de investigación.

FASE I

- ❖ Recolección de información referente al túnel Misael Pastrana Borrero
- ❖ Investigación en las instituciones referentes al área de vías
- ❖ Visitas a INVIAS
- ❖ Visita a COVIANDES
- ❖ Visita al ministerio de transporte
- ❖ Consulta en la red

¹¹ HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. FERNANDEZ COLLADO, Carlos BATISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la investigación, 2ed. México: Mc Graw –Hill, 1998. p102

FASE II

- ❖ Análisis y selección de la información existente al tema de investigación.
- ❖ Determinación de los factores que inciden en el comportamiento de la corriente vehicular

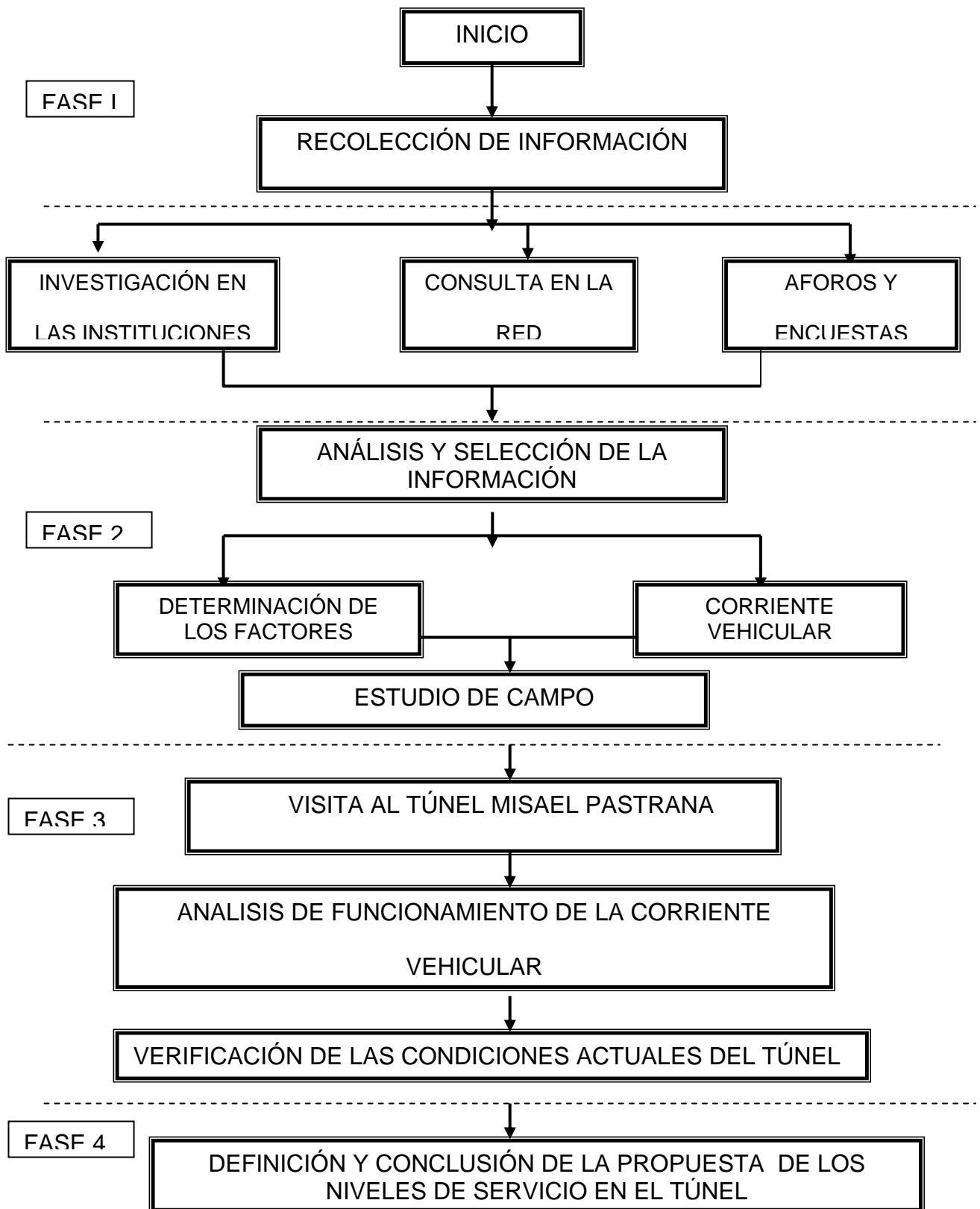
FASE III

- ❖ Visita al túnel Misael Pastrana Borrero
- ❖ Registro de funcionamiento de la corriente vehicular
- ❖ Análisis del funcionamiento de la corriente vehicular
- ❖ Chequeo en campo
- ❖ Verificación de las condiciones actuales del túnel

FASE IV

- ❖ Definición del nivel de servicio en el túnel vial Misael Pastrana Borrero.

3.1 FLUJOGRAMA METODOLÓGICO



3.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación fue la definición del nivel de servicio en el túnel vial Misael Pastrana Borrero.

3.3 INSTRUMENTOS

En el desarrollo de esta investigación se realizaron visitas de campo, conteos vehiculares y encuestas las cuales se anexan (Anexo B y G)

3.4 VARIABLES

Tabla 6. Identificación de variables

FACTOR DE ANALISIS	VARIABLES	INDICADORES
Nivel de servicio	Diseño geométrico, seguridad, comodidad	Longitud, pendiente, # carriles, sección transversal
Túnel	Calidad de servicio	Disminución de distancias y menor tiempo de recorrido, Estado del pavimento, IRI
Tránsito	Capacidad	Tasa máxima de flujo
	Volumen	Numero de vehículos
	Velocidad	Máxima permitida

3.5 COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1 Recursos materiales. Los recursos materiales usados durante el desarrollo de la presente investigación fueron:

Tabla 7. Presupuesto de recursos materiales

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Papel bond tamaño carta	Global	1	\$ 11.000,00	\$ 11.000,00
Discos compactos	Global	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Fotocopias	Global	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Impresiones	Global	1	\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
TOTAL RECURSOS MATERIALES				\$ 191.000,00

3.5.2 Recursos institucionales. Los recursos institucionales de la presente

investigación fueron:

- COVIANDES
- INVIAS
- MINISTERIO DE TRANSPORTE
- UNIVERSIDAD DE LA SALLE
- INCO

3.5.3 Recursos tecnológicos. Los recursos tecnológicos utilizados durante el

desarrollo de la presente investigación fueron:

Tabla 8. Presupuesto de recursos tecnológicos

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Cámara digital fotográfica	Global	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Computador	Global	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
Impresora	Global	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Fax	Global	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
Scanner	Global	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
TOTAL RECURSOS TECNOLÓGICOS				\$ 620.000,00

3.5.4 Recursos humanos. Los recursos humanos que formaron parte durante el desarrollo de la presente investigación fueron:

Tabla 9. Presupuesto de recursos humanos

CARGO	ENCARGADOS	No. Semanas	Valor Total
Investigadores principales	Estudiantes de proyecto de grado	32	-----
Coinvestigadores	Director temático *	20	\$ 115.100
	Asesor metodológico **	64	\$ 148.148
TOTAL RECURSOS HUMANOS			\$ 263.000

* Valor asumido por la Universidad de La Salle, según resolución rectorial No. 345 de noviembre 15 del 2005.

**Valor asumido por la Universidad de La Salle, según contrato laboral.

3.5.5 Otros recursos. Otros tipos de recursos que se usaron durante el desarrollo de la presente investigación aparecen en las tablas 1,2 y 3:

Tabla 10. Presupuesto de viáticos

NOMBRES DEL INVESTIGADOR	LUGAR DE ESTADIA	No DE DIAS	VALOR DIA	VALOR TOTAL
Diana	Villavicencio	5	\$ 35.000,00	\$ 175.000.00
Michelle	Villavicencio	5	\$ 35.000.00	\$ 175.000.00
TOTAL PRESUPUESTO DE VIÁTICOS				\$ 350.000.00

Tabla 11. Presupuesto de transporte

TRAYECTO	VALOR PASAJE	NUMERO	VALOR TOTAL
Bogotá-Villavicencio	\$ 17.000.00	6	\$ 102.000.00
Villavicencio-Bogotá	\$ 17.000.00	6	\$ 102.000.00
Otros	\$ 70.000	1	\$ 70.000.00
TOTAL PRESUPUESTO DE TRANSPORTES			\$ 274.000.00

3.5.6 Recursos financieros. El total de recursos financieros que se invirtieron durante el desarrollo de la presente investigación fueron:

Tabla 12. Presupuesto recursos financieros

RUBROS	FUENTES DE FINANCIACIÓN		
	UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	ESTUDIANTES	TOTAL
Recursos humanos	\$ 263.000,00		\$ 263.000,00
Recursos materiales		\$ 191.000,00	\$ 191.000,00
Recursos tecnológicos		\$ 620.000,00	\$ 750.000,00
Presupuesto de viáticos		\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
Presupuesto de transporte		\$ 274.000,00	\$ 274.000,00
Subtotal	\$ 263.000,00	\$ 1435.000,00	\$ 1.828.000,00
Imprevistos (5%)	\$ 13.150,00	\$ 71.750,00	\$ 91.400,00
TOTAL	\$ 276.150,00	\$ 1.506.750,00	\$ 1.919.400,00
TOTAL RECURSOS FINANCIEROS			\$ 1.919.000,00

4. TRABAJO INGENIERIL

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO TUNEL MISAEEL PASTRANA BORRERO (BUENAVISTA)

RUTA : Bogotá – Villavicencio

TRAMO : Túnel Misael Pastrana Borrero

Características: 8 bahías para estacionamiento, monitoreo interno de televisión, hidrantes cada 100 metros de distancia, teléfonos auxiliares, 38 extractores de 50 kilovatios cada uno, emisora interna para orientación del usuario y una capacidad de 180 vehículos simultáneos.

Los datos relativos a la accidentalidad muestran que la circulación por los túneles es más segura que el tránsito por las infraestructuras a cielo abierto. Sin embargo su vulnerabilidad es mucho mayor y las consecuencias de un accidente en un espacio confinado y aislado del exterior son mucho más graves que si se produce al aire libre.

Esta situación influye psicológicamente en los usuarios, quienes adoptan diferentes decisiones en el momento de transitar por estas obras.

4.1.1 Descripción general

Tabla 13. Descripción general del túnel Buenavista.

Vía: Bogota-Villavicencio	Tramo: Pipiral- Villavicencio
Tramo: Pipiral- Villavicencio	Túnel: Buenavista
Localización: Portal entrada : k77 +830 Portal salida : k82 + 350	Altitud: 750.21 m.s.n.m Altitud: 633.27 m.s.n.m
Relieve: Plano Clima: Templado	Vegetación: Bosque

4.1.2 Vía de acceso

Tabla 14. tipos de accesos del túnel Buenavista

Pendiente long: 3%	Pendiente trasv. 2.6%
Señalización: si	Alineamiento: Recto
Iluminación: si	Visibilidad: Buena
Corrientes de agua: si	

4.1.3 Portal de entrada

Tabla 15. Portal de entrada

Falso túnel: si	
Altura portal: 6.3m	Ancho portal: 8m
Presencia de agua: no	
Recubrimiento: concreto lanzado	Refuerzo: concreto reforzado y pernos

4.1.4 Cuerpo del túnel

Tabla 16. Cuerpo del túnel.

Salida de agua: Sin agua	Drenaje artificial: perforación en roca
Conducción superficial: no hay	Iluminación: si
Numero de luminarias: 600	Distancia entre luminarias: variable
Ventilación: natural	Numero de ventiladores: 36
Distancia entre ventiladores: 250m	Servicios de emergencia: si
Bahías de parqueo: si	Teléfonos: si
Alineamiento: recto y curvo	Longitud total del túnel: 4520m
Tipo de pavimento: rígido	Bermas: si

Cunetas: si	Ancho de calzada: 8m
Andenes: si	Refuerzo: arcos en metal , concreto reforzado y pernos

4.1.5 Características de la vía

Ancho de carril	: 3.67 m
Ancho de berma	: 1.80 m
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano, 2.6%
Longitud del sector	: 4.52 Km.
Radio de la curva más cerrada	: 500 m
Deflexión de la curva	: 18 °
Estado de la superficie de rodadura	: IRI = 4.0 mm/m

4.1.6 Características del tránsito

Tabla 17. Características del tránsito

		Sin túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía	Sin túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel	Con túnel con el componente de vehículos que transitan en la vía	Con túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel
Distribución por sentidos		66/34	66/34	66/34	66/34
Porcentaje de zonas de no rebase		10%	10%	100%	100%
Composición vehicular	% automóviles	79	83	79	83
	% buses y camiones	21	17	21	17
Volumen horario total ambos sentidos (Q)		833veh/h	833veh/h	833 veh/h	833 veh/h

4.2 PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDADES Y NIVELES DE SERVICIOS (MANUAL DEL CAUCA)

Se analizaron cuatro puntos de vista así:

- Tramo sin túnel con el componente completo de vehículos que transitan en la vía con cada distribución (66% y 34%).
- Tramo sin túnel con el componente de vehículos que entra al túnel con cada distribución (66% y 34%).
- Tramo con túnel con el componente completo de vehículos que transitan en la vía con cada distribución (66% y 34%).
- Tramo con túnel con el componente de vehículos que entra al túnel con cada distribución (66% y 34%).

4.2.1 Tramo sin túnel componente completo de vehículos que transitan en la vía (Tránsito cuesta arriba 66% y 34 %) Capacidad en condiciones ideales (Ci) en ambos sentidos = 3200 veh/hora

Nota: Ver anexo A tablas de factores de corrección a la capacidad

a) $F_{pe} = 0.97$ (tabla 1 anexo A, pendiente 2.6%, Longitud de la pendiente 4.52km)

b) $F_d = 0.88$ (tabla 2 anexo A, zonas de no rebase 10%, distribución por sentidos 66%)

c) $F_{cb} = 1.05$ (tabla 3 anexo A, ancho berma 1.80 m y ancho de carril 3.67 m)

d) $F_p = 0.83$ (tabla 4 anexo A, pendiente 2.6%, longitud del sector 4.52 km, porcentaje vehículos pesados 21%)

4.2.1.1 Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, sin tener en cuenta variaciones aleatorias

e) $C_{60} = C_i * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$

$$C_{60} = 3200 * 0.97 * 0.88 * 1.05 * 0.83 = 2831 \text{ veh/h}$$

4.2.1.2 Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, teniendo en cuenta las variaciones del volumen durante el periodo de cinco minutos de la hora pico

f) $C_5 = C_{60} * FPH$

$$FPH = 0.971 \text{ (tabla 5 anexo A, volumen horario } C_{60} = 2831 \text{ veh/h)}$$

$$C5 = 2831 * 0.971 = 2749 \text{ veh/h}$$

g) $Q / C60 = 833 / 2831 = 0.29$

h) $Q / C5 = 833 / 2749 = 0.30$

4.2.1.3 Cálculo del nivel de servicio

a) $V_i = 78.5 \text{ km/h}$ (tabla 6 anexo A, pendiente 2.6%, longitud del sector 4.52 km)

b) $f_u = 0.97$ (tabla 7, $Q / C60 = 0.366$)

Volumen total en ambos sentidos (Q) = 833 veh/h

Capacidad C60 = 2831 veh/h, entonces:

$$Q / C60 = 833 / 2831 = 0.29$$

c) $V_1 = V_i * f_u$

$$V_1 = 78.5 * 0.97 = 76.15 \text{ km/h}$$

d) $f_{sr} = 0.965$ (tabla 8 anexo A, IRI = 4.0 mm/m, velocidad V1: 76.15 km/h)

e) $f_{cb} = 1.05$ (tabla 9 anexo A, ancho berma 1.80 m y ancho de carril 3.67 m)

f) $V_2 = V_1 * f_{sr} * f_{cb}$

$$V_2 = 76.15 * 0.965 * 1.05 = 77.16 \text{ km/h}$$

g) $f_{p1} = 0.752$ (tabla 10 anexo A, velocidad V2: 77.16 km/h, longitud del sector 4.52 km y pendiente 2.6%)

h) $f_{p2} = 0.969$ (tabla 11 anexo A, 21% de vehículos pesados, volumen en ambos sentidos : 833 veh/h)

y) $f_p = f_{p1} * f_{p2}$; si $f_p > 1$ entonces $f_p = 1$

$$f_p = 0.752 * 0.969 = 0.729$$

j) $V_3 = V_2 * f_p$

$$V_3 = 77.16 * 0.729 = \mathbf{57 \text{ km/h}}$$

k) $V_c = 77$ km/h (tabla 12 anexo A, radio de la curva más cerrada del sector 500 m)

l) Se compara V_3 con V_c

$$57 < 77 = V_3 < V_c$$

Comparar V_3 con V_c . Si V_c resulta menor que V_3 , habrá que calcular la velocidad media de recorrido V . Si V_c resulta mayor o igual que V_3 , se designa V_3 como V .

Si $V_3 < V_c$, $V = V_3$

Esta velocidad V , corresponde a la velocidad media del tránsito mixto, a flujo restringido, en condiciones estudiadas, en todo el sector de análisis.

* Con el valor de la velocidad media V , entrar a la tabla 13 anexo A y determinar el nivel de servicio.

4.2.1.4 Nivel de servicio

f) Entrando a la tabla 13 Anexo A, conociendo tipo de terreno (plano) y velocidad media $V = 57$ km/h, se obtiene un nivel de servicio **D**.

4.2.2 Análisis de capacidad y niveles de servicio del tramo sin túnel con componente completo de vehículos que transitan en la vía (tránsitos cuesta arriba de 66 y 34)

4.2.2.1 Cálculo de la capacidad

- Tránsito cuesta arriba de 66%

Tabla 18. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente completo

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	0.88	1.05	0.83	3200	= 2831
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2831	0.971				= 2749
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.29		0.30

- Tránsito cuesta arriba de 34%

Tabla 19. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente completo

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	1.10	1.05	0.83	3200	= 2976
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2976	0.97				= 2886
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.27		0.28

4.2.2.2 Cálculo del nivel de servicio

- Tránsito cuesta arriba 66%

Tabla 20. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente completo

$V_i_{[6]} * f_u_{[7]}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr}_{[8]} * f_{cb}_{[9]}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.97	76.15 0.965 1.05	77.16
$f_{p1}_{[10]} * f_{p2}_{[11]}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.752 0.969	0.729 77.16 57	77

VELOCIDAD MEDIA : 57 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

- Tránsito cuesta arriba 34%

Tabla 21. cálculo del nivel de servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente completo

$V_i_{[6]} * f_u_{[7]}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr}_{[8]} * f_{cb}_{[9]}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.97	76 0.965 1.05	77
$f_{p1}_{[10]} * f_{p2}_{[11]}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.752 0.969	0.729 77 56	77

VELOCIDAD MEDIA : 56 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

4.2.3 Tramo sin túnel componente de vehículos que entran al túnel (tránsito cuesta arriba 66% y 34%)

4.2.3.1 Cálculo de la capacidad

- Tránsito cuesta arriba de 66%

Tabla 22. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente que entra al túnel

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	0.88	1.05	0.85	3200	= 2438
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2438	0.953				= 2323
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.34		0.36

- Tránsito cuesta arriba de 34%

Tabla 23. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente que entra al túnel

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	1.10	1.05	0.85	3200	= 3047
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
3047	0.971				= 2958
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.27		0.29

4.2.3.2 Cálculo del nivel de servicio

- Tránsito cuesta arriba 66%

Tabla 24. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente que entra al túnel

$V_i_{[6]} * f_u_{[7]}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr}_{[8]} * f_{cb}_{[9]}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.951	74.65 0.967 1.05	75.79
$f_{p1}_{[10]} * f_{p2}_{[11]}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.805 0.99	0.797 75.79 61	77

VELOCIDAD MEDIA : 61 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

- Tránsito cuesta arriba 34%

Tabla 25. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente que entra al túnel

$V_i_{[6]} * f_u_{[7]}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr}_{[8]} * f_{cb}_{[9]}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.971	76.23 0.964 1.05	77.15
$f_{p1}_{[10]} * f_{p2}_{[11]}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.781 1.013	0.791 77.15 61	77

VELOCIDAD MEDIA : 61 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

4.2.4 Tramo con túnel componente completo de vehículos que transitan en la vía (transito cuesta arriba 66% y 34%)

4.2.4.1 Cálculo de la capacidad

- Tránsito cuesta arriba de 66%

Tabla 26. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 66%, con túnel componente completo

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	0.829	1.05	0.83	3200	= 2242
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2242	0.951				= 2132
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.37		0.39

- Tránsito cuesta arriba de 34%

Tabla 27. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, con túnel componente completo

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	1.10	1.05	0.83	3200	= 2975
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2975	0.976				= 2904
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.28		0.28

4.2.4.2 Cálculo del nivel de servicio

- Tránsito cuesta arriba 66%

Tabla 28. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel

$V_i_{[6]} * f_{u_{[7]}}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr_{[8]}} * f_{cb_{[9]}}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.972	76.30 0.964 1.05	77.23
$f_{p1_{[10]}} * f_{p2_{[11]}}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.783 0.969	0.758 77.23 58	77

VELOCIDAD MEDIA : 58 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

- Tránsito cuesta arriba 34%

Tabla 29. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel

$V_i_{[6]} * f_{u_{[7]}}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr_{[8]}} * f_{cb_{[9]}}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.972	76.30 0.965 1.05	77.31
$f_{p1_{[10]}} * f_{p2_{[11]}}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) <=>$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.782 0.969	0.757 77.31 59	77

VELOCIDAD MEDIA : 59 km/h

NIVEL DE SERVICIO : D

4.2.5 Tramo con túnel componente de vehículos que entran al túnel (transito cuesta arriba 66% y 34%)

4.2.5.1 Cálculo de la capacidad

- Tránsito cuesta arriba de 66%

Tabla 30. cálculo de la capacidad del transito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	0.829	1.05	0.85	3200	= 2297
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
2297	0.97				= 2183
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.363		0.38

- Tránsito cuesta arriba de 34%

Tabla 31. cálculo de la capacidad del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci					= C60 (veh/h)
0.97	1.10	1.05	0.85	3200	= 3047
C60 * FPH_[5]					= C5 (Veh/h)
3047	0.97				= 2958
Q(Veh/h)			Q/C60		Q/C5
833			0.27		0.29

4.2.5.2 Cálculo del nivel de servicio

- Tránsito cuesta arriba 66%

Tabla 32. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 66%, sin túnel componente pasa por túnel

$V_i_{[6]} * f_{u_{[7]}}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr_{[8]}} * f_{cb_{[9]}}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.973	76.38 0.965 1.05	77.39
$f_{p1_{[10]}} * f_{p2_{[11]}}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) \Leftrightarrow$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.784 1.013	0.794 77.16 62	77

VELOCIDAD MEDIA : 62 km/h

NIVEL DE SERVICIO : C

- Tránsito cuesta arriba 34%

Tabla 33. cálculo del Nivel de Servicio del tránsito cuesta arriba 34%, sin túnel componente pasa por túnel

$V_i_{[6]} * f_{u_{[7]}}$	$= V1(\text{km/h}) * f_{sr_{[8]}} * f_{cb_{[9]}}$	$= V2(\text{km/h})$
78.5 0.971	76.23 0.964 1.05	77.15
$f_{p1_{[10]}} * f_{p2_{[11]}}$	$= f_p * V2(\text{km/h}) = V3(\text{km/h}) \Leftrightarrow$	$V_c(\text{km/h})_{[12]}$
0.781 1.013	0.791 77.15 62	77

VELOCIDAD MEDIA : 62 km/h

NIVEL DE SERVICIO : C

4.3 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA TÚNELES

Según el diario informativo de la unión Europea existen unos requerimientos mínimos para túneles, los cuales los hemos adaptado al túnel Buenavista, para saber si este túnel cumple con lo obligatorio para tener un buen nivel de servicio y seguridad.

- ✓ Obligatorio para todos los túneles
- Obligatorio con excepciones

Tabla 34. Requerimientos mínimos para túneles

		TRAFICO MENOR 2000 VEHICULOS POR CARRIL	OTRAS OBLIGACIONES PARA QUE LA APLICACIÓN SEA OBLIGATORIA O COMENTARIOS	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS QUE CUMPLE EL TÚNEL BUENAVISTA
Medidas estructurales		LONGITUD MAYOR A 1000 M		
	Pendiente menor al 5%	•	Obligatorio a menos que no sea geográficamente factible	SI

	Pasarelas de evacuación	•	Obligatorio si no hay carril de emergencia, salvo que se respete la condicion. En los túneles ya existentes que no tengan carril de emergencia ni pasarela de evacuación, se tomarán medidas adicionales o mas estrictas.	NO
	Conexiones transversales para los servicios de emergencia cada 1500 como mínimo	✓	Obligatorio en los túneles de dos tubos mayores a 1500m	SI
	Cruce de la medida fuera de cada boca	✓	Obligatorio fuera de los túneles de dos o mas tubos siempre que sea geográficamente factible	SI
	Drenaje de líquidos tóxicos e inflamable	•	Obligatorio si se permite el transporte de mercancías peligrosas	NO
	Resistencia de las estructuras al fuego	✓	Obligatorio si un derrumbamiento local puede tener consecuencias catastróficas	SI
Iluminación	Iluminación normal	✓		SI
	Iluminación de seguridad	✓		SI
	Iluminación de evacuación	✓		SI
Ventilación	Disposiciones especiales respecto de la ventilación transversal o semitransversal	✓	Obligatorio en los túneles bidireccionales dotados de un centro de control	SI
Estaciones de emergencia	Cada 150 m como mínimo	•	Equipadas con un teléfono y dos extintores. En los túneles existentes se permite un intervalo máximo de 250m.	SI

Abastecimiento de agua	Cada 250m como mínimo	✓	Si no se dispone de suministro es obligatorio conseguir otro tipo de abastecimiento de agua suficiente	NO
Señales viales Centro de control		✓	Para todos los equipos de seguridad que estén a disposición de los usuarios del túnel	SI
Sis. vigilancia	Video	✓	Obligatorio si hay un centro de control	SI
	Detección automática de incendios	✓	Al menos uno de los dos sistemas es obligatorio en los túneles dotados de un centro de control	SI
Equipos para el cierre del túnel	Semáforos antes de la entrada	✓		SI
Sistemas de comunicación	Mensajes de emergencia por radio para los usuarios del túnel	✓	Obligatorio si hay transmisión por radio destinadas a los usuarios del túnel y se dispone de un centro de control.	SI
	Altavoces en los refugios y las salidas	✓	Obligatorio si los usuarios que evacuan el túnel deben esperar antes de llegar al exterior.	SI
	Transmisión por radio para los servicios de emergencia	✓		SI

Suministro de electricidad de emergencia	✓	Para garantizar el funcionamiento del equipo de seguridad indispensable al menos durante la evacuación de los usuarios del túnel	SI
Resistencia de los equipos al fuego	✓	Tendrá como finalidad mantener las necesarias funciones de seguridad.	SI

4.4 ESTUDIO DE CAPACIDAD PARA EL TUNEL BUENAVISTA

Para realizar el análisis de capacidad del túnel Buenavista se tiene en cuenta el sistema de ventilación. La primera medida que se toma en cuenta es la longitud del túnel para saber cuantos vehículos van a transitar en éste. Teniendo en cuenta la medida de cada tipo de vehiculo y el gas (Diesel, CO) que se emite, se adecua un sistema de ventilación apropiado para el túnel. El sistema de ventilación es en gran importancia dentro del túnel, ya que si se presenta algún problema dentro de éste el usuario corre muchos riesgo. Para la definición de la ventilación se deben tener varios criterios:

En el caso del túnel vial de Buenavista se evaluó lo siguiente:

- I. Tráfico máximo de diseño (TDH)
- II. Capacidad máxima de ventilación con sistema longitudinal

- III. Capacidad máxima de ventilación con sistema transversal o semitransversal
- IV. Año en el que tiene lugar el tráfico máximo permisible que copa la capacidad del sistema de ventilación.
- V. Sistema inteligente de control de tráfico, por medio de contadores de vehículos y semáforos
- VI. Sistema de medidores de CO y de visibilidad.
- VII. Sistema de detección de incendios

4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DENTRO DEL TÚNEL BUENAVISTA

Mediante un análisis investigativo, se encontraron los varios aspectos los cuales tienen gran importancia en el estudio del nivel de servicio en un túnel de gran longitud como lo es el Misael Pastrana Borrero (Buenavista) los cuales fueron:

- **Iluminación:** En el día el cambio de luz del medio exterior al interior del túnel es muy notorio, a la entrada del túnel se encuentra el llamado efecto del agujero negro debido a que la luminancia ambiental en el exterior es mucho mayor que la de la entrada, y se da el fenómeno de inducción (se produce cuando no es posible distinguir un objeto de otros a su alrededor por mucho tiempo que se mire), por lo tanto antes de establecer la iluminación necesaria en la entrada del túnel se debe determinar el nivel de luminancia en la zona de acceso.

- **Ventilación:** Es una función muy importante en condiciones normales de explotación y fundamental en caso de incendio, su principal objeto es diluir mediante un caudal de aire los contaminantes que emiten los motores de los vehículos a concentraciones que estén por debajo de los límites admisibles, para no causar trastornos fisiológicos a los usuarios ni disminuir la visibilidad por debajo de la distancia mínima de frenado requerida por los vehículos¹⁵. La elección del sistema de ventilación depende de una serie de factores entre los que se encuentran la longitud del túnel, la intensidad de tráfico que soporta, gastos de explotación, seguridad en caso de incendio ya que al presentarse este caso el sistema de ventilación debe ser adecuado para evacuar o controlar el avance de los humos y gases calientes con mínimo riesgo para los usuarios del túnel.

La ventilación en el túnel Buenavista, tiene un sistema de 36 ventiladores, los cuales se prenden a medida que encuentran mayor concentración de monóxido y partículas de Diesel (gases). La concentración alta de estos gases contamina el aire, haciendo que la visibilidad para los conductores se reduzca, y bajando el nivel de servicio. Este sistema de ventilación es manejado desde el centro de control mediante unos algoritmos que automáticamente se prenden cuando existe alguna irregularidad y se apagan cuando la situación esta en sus límites adecuados.

¹⁵ Ingetec S.A. Instituto nacional de Vías Estudio y análisis definición de ventilación túnel buenavista. Informe agosto 2000. Pag.6

- **Tránsito:** Es indispensable para controlar el tráfico en condiciones normales y de emergencia, un sistema de señalización compuesto por semáforos, señales de tráfico, contadores de tráfico, controladores de altura. Para ello es necesario realizar cálculos acerca de la capacidad de tráfico en años futuros para que la ventilación y capacidad geométrica propia del túnel no se vean afectadas y el nivel de servicio se encuentre óptimo.

Tabla 35. Datos de Tránsito promedio anual dentro del túnel Buenavista¹⁶

AÑO	TRANSITO PROMEDIO ANUAL
2003	4249
2004	4594
2005	4974
2006	5612

- **Comportamiento lineal**

Tabla 36. Regresión Lineal del tráfico promedio anual del túnel Buenavista

Año	X	X²	Y	Y²	XY
2003	0	0	4249	18054001	0
2004	1	1	4594	21104836	4594
2005	2	4	4974	24740676	9948
2006	3	9	5612	31494544	16836
sumatoria	6	14	19429	95394057	31378

¹⁶ COVIANDES, Estudios de tránsito 2003-2006.

a=	4186,9	Y = a + bx	y=4186,9+446,9x
b=	446,9		

- Comportamiento exponencial

Tabla 37. Regresión exponencial del tráfico promedio anual del túnel Buenavista

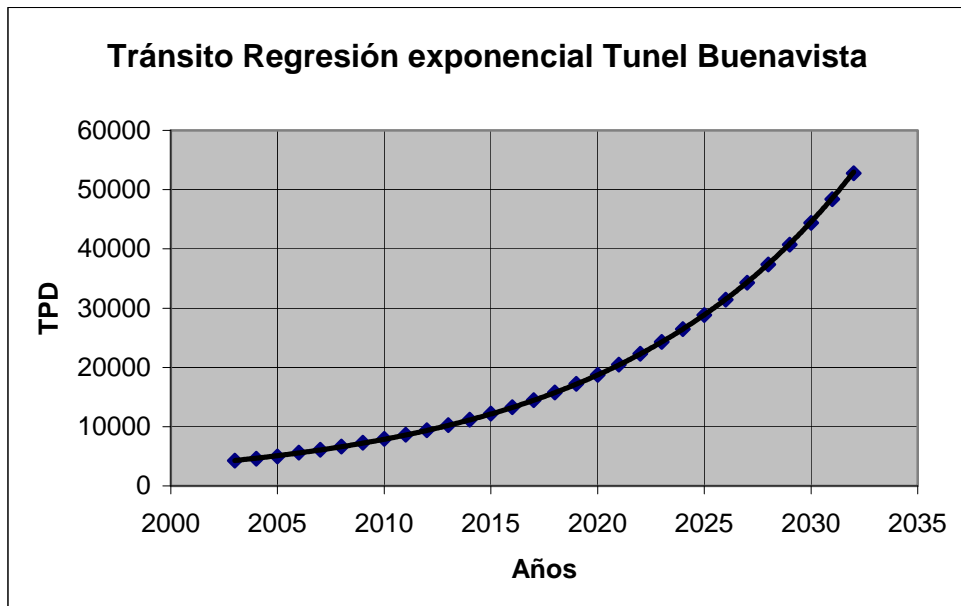
Año	X	X ²	Y	Y'(log Y)	XLogY	Y' ²
2003	0	0	4249	3,63	0,00	13,16
2004	1	1	4594	3,66	3,66	13,41
2005	2	4	4974	3,70	7,39	13,67
2006	3	9	5612	3,75	11,25	14,06
sumatoria	6	14	19429	14,74	22,30	54,30

a' =	3,625	log a	a =	4216
b' =	0,040	log b	b =	1,09

- Proyección al año 2032

$y = (4216)(1,09)^{29}$	51318 veh
-------------------------	-----------

Figura 2. Proyección del transito al año 2032



La siguiente tabla indica el control de tráfico y señalización en el túnel Buenavista y como debe ser operado.

Tabla 38. Control de tráfico y señalización en el túnel Buenavista

	CONDICIONES	OPERACIÓN A EJECUTAR
OPERACIÓN NORMAL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nivel co, visibilidad, temperatura normal. ▪ Sistema de incendio no operado ▪ Sistema auxilio no operado ▪ No hay congestión o exceso de velocidad en una zona del túnel ▪ Iluminación normal ▪ Control de altura no operado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner en verde los semáforos ▪ Velocidad limite 45 Km./h
EMERGENCIA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Activado el sistema de auxilio ▪ Declarada la brigada de auxilio 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner en amarillo intermitente todos los semáforos de la zona ▪ Cambiar a alerta-peligro las señales variables
PELIGRO GRAVE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Operación de un detector de incendio ▪ Alarma manual de incendio operada ▪ Alta concentración de CO ▪ Baja visibilidad ▪ Exceso de vehículos en una sección ▪ Congestión de tráfico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner en rojo los semáforos en dirección de la zona de peligro el resto de semáforos no deben cambiar de estado. ▪ Cambiar a “alerta-peligro” las señales variables en la dirección de la zona de peligro ▪ Cerrar el túnel.

- **Comunicaciones:** Contribuyen de forma importante a garantizar la seguridad de los usuarios. Su función se basa en la posibilidad de que el encargado del túnel pueda informar sobre las condiciones de circulación en cada momento, transmitiendo la información lo más breve posible, dando las

instrucciones precisas para adaptarse a la nueva situación. Con ello se informa, alerta, educa, convence y cambia las actitudes y comportamiento de los usuarios.

- **Señalización:** En túneles se utiliza señalización horizontal y vertical las cuales son fundamentales para garantizar la seguridad en la circulación por el túnel. Con ella se informa al usuario sobre la localización de los nichos, refugios y galerías de retorno, límite de velocidad y prohibición de parada.
- **Protección contra incendios:** En todo túnel el mayor peligro que se puede presentar a causa del encerramiento es un incendio ya sea por accidentes o ocasionado por algún gas combustible, claro esta que una de las mayores restricciones que se debe tener en un túnel vial es la prohibición del tránsito de vehículos con gases inflamables para prevenir estos accidentes y mejorar el nivel de servicio.

De los cuales los que más afectan la velocidad y por lo tanto el nivel de servicio son los siguientes:

4.5.1 Factor No 1: aspecto psicológico de los conductores en un túnel

Se realizó una encuesta con un grupo experimental de 50 personas equilibradas en edad y género, cuyo único requisito era que conducirían (Autos, buses, camiones) y hubieran transitado alguna vez por un túnel.

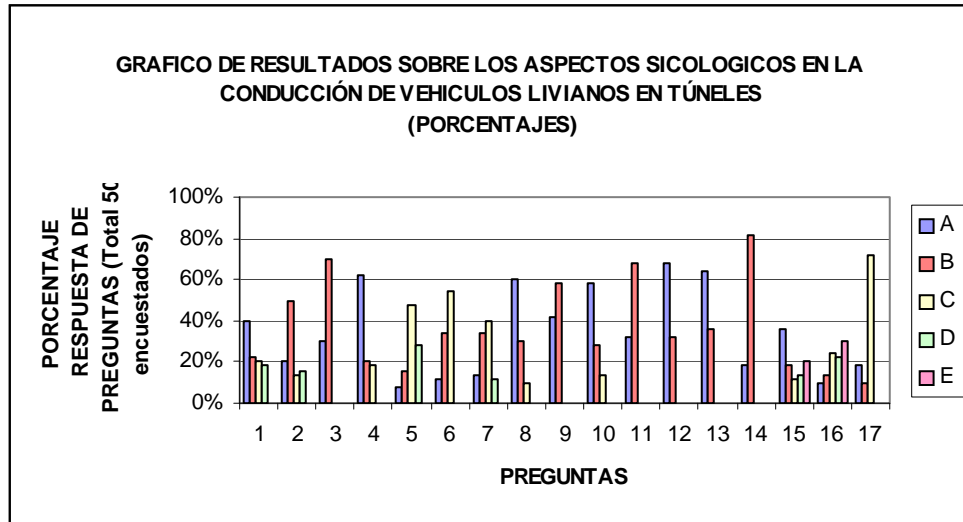
Nota: Ver anexos B, C, D, E sobre aspectos psicológicos en conductores en túneles.

4.5.1.1 Respuestas de los conductores de vehículos livianos

Tabla 39. Respuesta de la encuesta de los conductores de vehículos livianos

Porcentaje	A	B	C	E	D
1	40%	22%	20%	18%	
2	20%	50%	14%	16%	
3	30%	70%			
4	62%	20%	18%		
5	8%	16%	48%	28%	
6	12%	34%	54%		
7	14%	34%	40%	12%	
8	60%	30%	10%		
9	42%	58%			
10	58%	28%	14%		
11	32%	68%			
12	68%	32%			
13	64%	36%			
14	18%	82%			
15	36%	18%	12%	14%	20%
16	10%	14%	24%	22%	30%
17	18%	10%	72%		

Figura 3 Resultados encuesta vehículos livianos

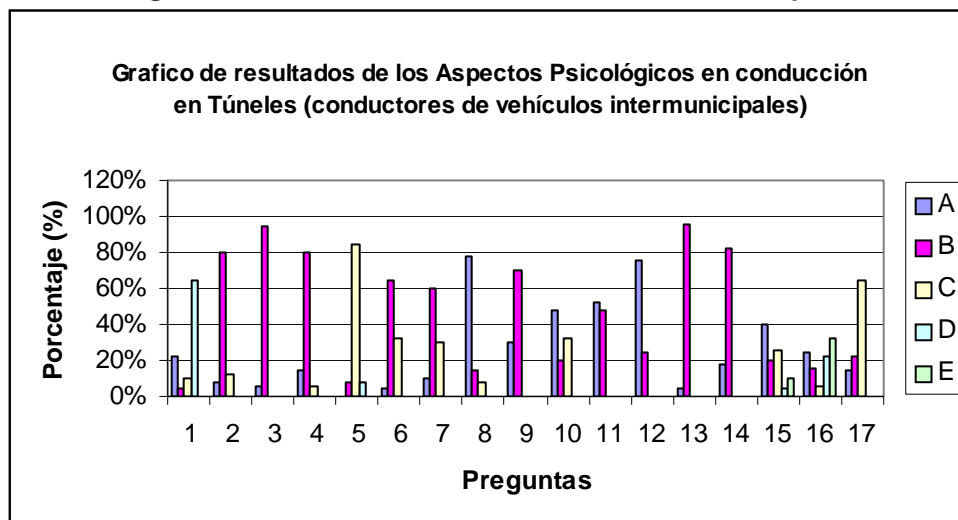


4.5.1.2 Respuestas de los conductores de buses intermunicipales

Tabla 40. Respuesta de la encuesta de los conductores de buses intermunicipales

PREGUNTA	A	B	C	D	E
1	22%	4%	10%	64%	0%
2	8%	80%	12%	0%	0%
3	6%	94%			
4	14%	80%	6%		
5	0%	8%	84%	8%	
6	4%	64%	32%		
7	10%	60%	30%		
8	78%	14%	8%		
9	30%	70%			
10	48%	20%	32%		
11	52%	48%			
12	76%	24%			
13	4%	96%			
14	18%	82%			
15	40%	20%	26%	4%	10%
16	24%	16%	6%	22%	32%
17	14%	22%	64%		

Figura 4. Resultados encuesta vehículos intermunicipales

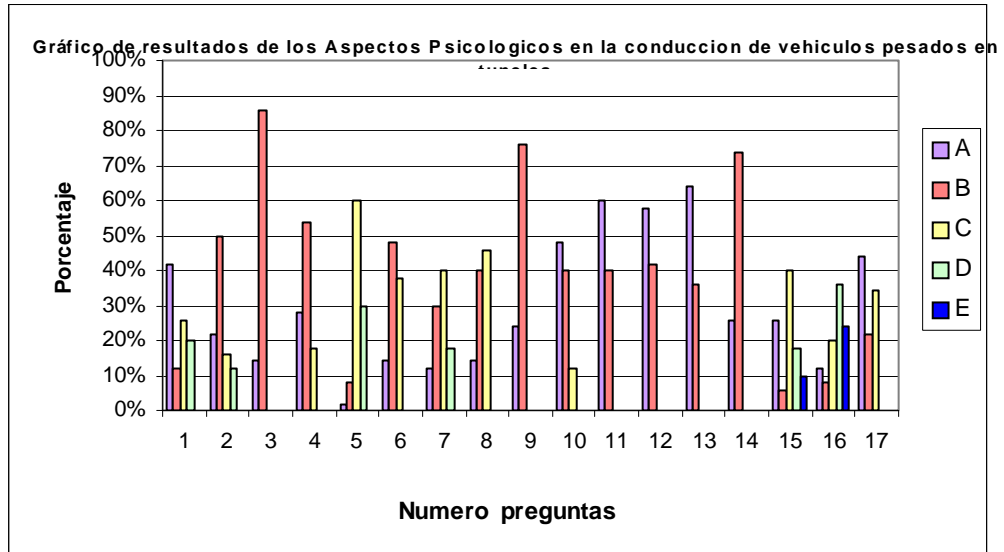


4.5.1.3 Respuestas de los conductores de camiones

Tabla 41. Respuesta de la encuesta de los conductores de camiones

Porcentaje	A	B	C	D	E
1	42%	12%	26%	20%	
2	22%	50%	16%	12%	
3	14%	86%			
4	28%	54%	18%		
5	2%	8%	60%	30%	
6	14%	48%	38%		
7	12%	30%	40%	18%	
8	14%	40%	46%		
9	24%	76%			
10	48%	40%	12%		
11	60%	40%			
12	58%	42%			
13	64%	36%			
14	26%	74%			
15	26%	6%	40%	18%	10%
16	12%	8%	20%	36%	24%
17	44%	22%	34%		

Figura 5. Resultados encuesta camiones



4.5.1.4 Porcentajes mayores de la encuesta hecha a los conductores, entre los diferentes vehículos (livianos, buses, pesados)

Tabla 42. Mayores Respuestas de la encuesta hecha a los conductores, entre los diferentes vehículos (livianos, buses, pesados)

PREGUNTA	LIVIANOS	%	BUSES	%	PESADOS	%	(%)
1	a	40	d	64	a	42	
2	b	50	b	80	b	50	iguales
3	b	70	b	94	b	86	iguales
4	a	62	b	80	b	54	
5	c	48	c	84	c	60	iguales
6	c	54	b	64	b	48	
7	c	40	b	60	c	40	
8	a	60	a	78	c	46	
9	b	58	b	70	b	76	iguales
10	a	58	a	48	a	48	iguales
11	b	68	a	48	a	60	
12	a	68	a	76	a	58	iguales
13	a	64	b	96	a	64	
14	b	82	b	82	b	74	iguales
15	a	36	a	40	c	40	
16	e	24	e	32	d	36	
17	c	72	c	64	a	44	

4.5.1.5 Respuestas sobresalientes de la encuesta aspectos psicológicos en conductores

Tabla 43. Respuestas sobresalientes de la encuesta

	2	4	5	6
Autos	50%	62%	48%	54%
Buses	80%	80%	84%	64%
Camiones	50%	54%	60%	48%

Figura 6. Respuestas sobresalientes de la encuesta

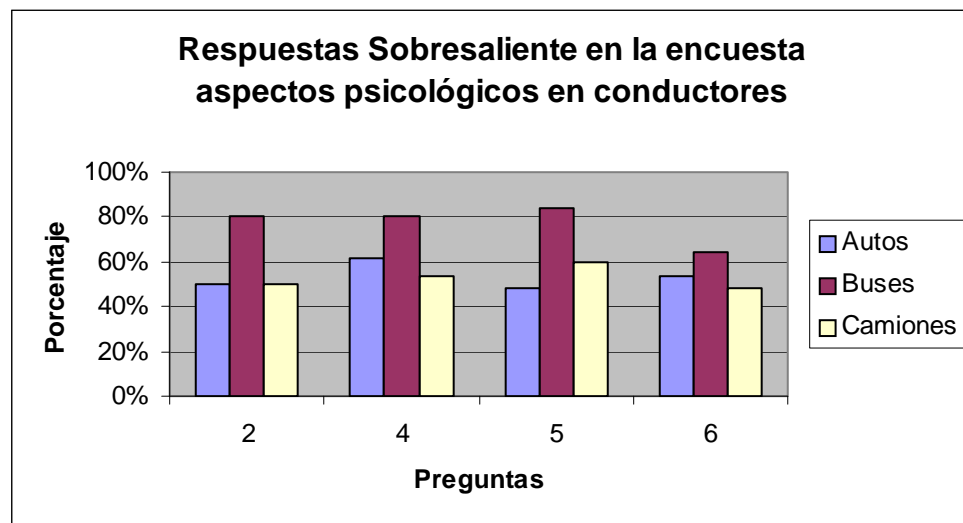


Tabla 44. Velocidades manejadas en el túnel por los conductores

ZONAS	VELOCIDADES (Km./h)	Porcentaje de reducción (%)
Acceso	80	-
Umbral 1	60	25
Umbral 2	60	25
Transición 1	60	25
Transición 2	60	25
Transición 3	60	25
Interior	60	25
Salida	60	25

Nota: las velocidades dadas en la tabla fueron sacadas de la encuesta realizada a los conductores.

Factor de reducción según el porcentaje de reducción = 0.893

4.5.2 Factor No 2: iluminación

4.5.2.1 Sistema de iluminación en el Túnel MISAEL PASTRANA BORRERO

El Sistema de Iluminación está conformado por luminarias de Vapor de Sodio de diferentes potencias distribuidas a lo largo del túnel por parejas, de forma conveniente para obtener un nivel de Iluminación similar al otorgado por la luz del Sol en los portales de entrada, disminuyendo la intensidad paulatinamente a medida que se avanza hacia el interior del túnel, con miras a lograr que la pupila del ojo de los conductores se adapte hasta llegar al nivel mínimo recomendado por los organismos internacionales, el cual se mantiene a lo largo del túnel, hasta llegar al otro portal, en donde se ejerce el efecto inverso para evitar un deslumbramiento en los ojos del conductor.

La capacidad de las luminarias depende del sitio donde se instalen; existen 3 niveles de iluminación, uno para los umbrales de entrada, otro para las zonas de transición y otro para el cuerpo o zona central del túnel.

- Túnel Misael Pastrana Borrero 146 luminarias de 400 W, 28 de 250W, 22 de 150W y 430 de 2x 50 W.

Distribuidas de la siguiente forma:

4.5.2.2 Iluminación entrada Bogotá-Villavicencio

Tabla 45. Iluminación túnel Buenavista entrada Bogotá-Villavicencio

SECTOR	POTENCIA	LUMINARIA	INTERDISTANCIA	LONGITUD DE LA ZONA	LUCES
Umbral 1	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/1200	1.6 m 21 m	40 m	2450
Umbral 2	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/1200	3.5 m 21 m	40 m	1185
Transición 1	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/1200	8 m 21 m	36 m	612
Transición 2	250 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/1200	7 m 21 m	69 m	332
Transición 3	150 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/1200	21 m 21 m	143 m	96
Cuerpo	2 x50 W	AF4/1200	21 m	3931 m	33

Total zona Umbral: 80m
Total Zona Transición: 251m

4.5.2.3 Iluminación entrada Villavicencio Bogotá

Tabla 46. Iluminación túnel Buenavista entrada Villavicencio-Bogotá

SECTOR	POTENCIA	LUMINARIA	INTERDISTANCIA	LONGITUD DE LA ZONA	LUCES
Umbral 1	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/2 *1200	1.8 m 21 m	34 m	2141
Umbral 2	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/2 *1200	4 m 21 m	34 m	1009
Transición 1	400 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/2 *1200	8 m 21 m	36 m	540
Transición 2	250 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/2 *1200	10.5 m 21 m	61 m	282
Transición 3	150 W 2 x50 W	AF4/1399 AF4/2 *1200	21 m 21 m	96 m	88

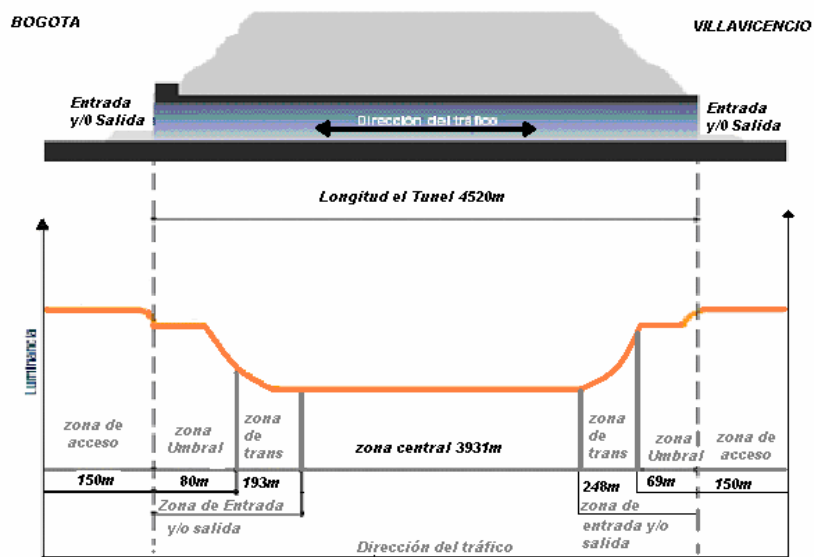
SECTOR	POTENCIA	LUMINARIA	INTERDISTANCIA	LONGITUD DE LA ZONA	LUCES
Cuerpo (Día)	2 x 50 W	AF4/ 2*1200	21 m	3931 m	99
Túnel Noche	50 W (Se apaga una de las bombillas en las luminarias AF4/2*1200)	AF4/2 * 1200	21 m	4520 m	

Total zona Umbral: 68m
 Total Zona Transición: 193m
 Total zona Central: 3931m

En cada nicho de parqueo se encuentran instaladas 4 luminarias MY, equipadas cada una con dos bombillas fluorescentes de 32W T8 colocadas a una altura de 4 metros, una ínter distancia de 12 metros y una inclinación de 30 °C.

4.5.2.4 Zonas de Iluminación en el Túnel Buenavista

Figura 7. Producción propia datos COVIANDES Túnel Buenavista



4.5.2.5 Velocidades y luminancia utilizadas en las diferentes zonas del túnel MISAEL PASTRANA BORRERO

Tabla 47. Velocidades y luminancia túnel Buenavista Bogotá-Villavicencio Distribución 34%

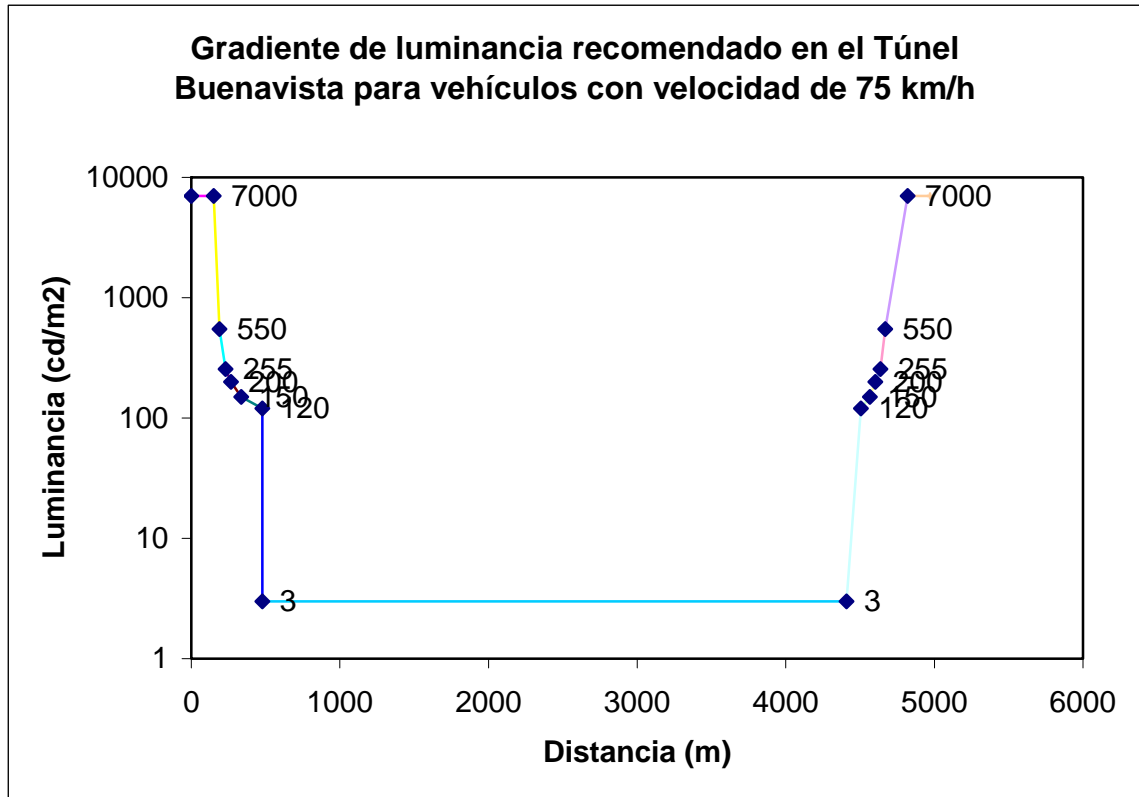
ZONAS	VELOCIDADES (Km./h)	LUMINANCIA (cd/m2)	Longitud de la zona (m)	Reducción	
				v	%
Acceso	75	7000	150	-	-
Umbral 1	60	550	40	0	0
Umbral 2	58	255	40	2	3.3
Transición 1	56	200	36	4	6.6
Transición 2	54	150	69	6	10
Transición 3	53	120	143	7	11.6
Interior	50	3	3931	10	16.6
Salida	60	3	150	0	0
Promedio					9.6
Factor de reducción					0.904

Tabla 48. Velocidades y luminancia túnel Buenavista Villavicencio- Bogotá Distribución 66%

ZONAS	VELOCIDADES (Km./h)	LUMINANCIA (cd/m2)	Longitud de la zona (m)	Reducción	
				v	%
Acceso	75	7000	150	-	-
Umbral 1	62	550	34	0	0
Umbral 2	60	255	34	2	3.2
Transición 1	56	200	36	6	9.6
Transición 2	54	150	61	8	12.9
Transición 3	51	120	96	11	17.7
Interior	50	3	3931	12	19.3
Salida	55	3	150	7	11.3
Promedio					12.3
Factor de reducción					0.877

Nota: La información suministrada de las velocidades fue suministrada por la Consecionaria Vial COVIANDES

Figura 8. Gradiente Luminancia vs Velocidad



4.5.3 Factor No 3: Restricciones Laterales

Al ingresar a un túnel casi siempre el conductor experimenta sensaciones de repulsión o separación ya que sienten que pueden chocar contra estas ocasionado accidentes.

Nota. Ver anexo G. Encuesta del estudio del impacto que otorgan las paredes laterales del túnel Buenavista a los conductores

El túnel Buenavista no presenta un adecuado revestimiento en sus paredes, lo que hace que los conductores se alejen de estas, transitando así mas por el centro del carril, lo que ocasiona un mayor grado de accidentalidad. Por ello es necesario saber que el revestimiento de las paredes deben jugar con la variación cromática de la calzada respecto a la de los hastiales y la bóveda, para obtener el deseado efecto de guiado, los materiales y colores a disponer. Deberá ser limpiable, duradero, no inflamable y en el caso de tratarse de elementos adosados al hastial, disponer de anclajes adecuados para resistir eventuales colisiones. Los humos de los vehículos acaban matando los colores e instalando un ambiente gris.

Hoy en día existe una amplia y eficaz cooperación entre la OCDE y la AIPCR en Programas de Investigación del Transporte por Carretera para el estudio sobre el efecto que producen las paredes laterales al conductor. Para saber en que porcentaje disminuye la velocidad por las paredes se realizo un estudio a los conductores que transitan en el tunel Buenavista, encontrando el siguiente resultado:

Tabla 49. Restricción Lateral (paredes) Túnel Buenavista

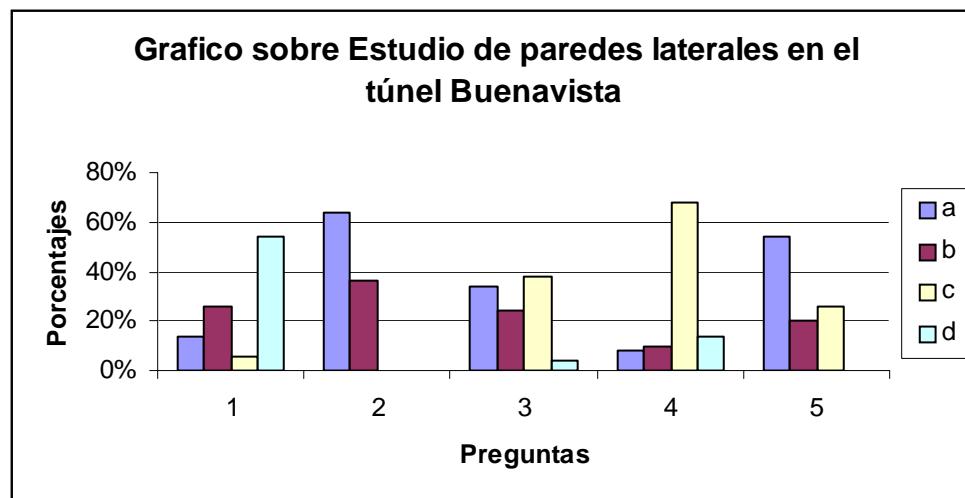
TUNEL	VELOCIDAD INICIAL AL ENTRAR AL TUNEL	% DE DISMINUCIÓN POR LAS PAREDES LATERALES	VELOCIDAD CONSTANTE EN EL RECORRIDO POR EL TUNEL CON LA DISMINUCIÓN DE PAREDES LATERALES
Buenavista	75Km/h	25%	56 km/h
Buenavista	60km/h	25%	45km/h

NOTA: Ver anexo de estudio de paredes laterales en el túnel

Tabla 50. Número de personas por pregunta estudio de restricciones laterales en el túnel Buenavista

PREGUNTA	a	b	c	d
1	7	13	3	27
2	32	18		
3	17	12	19	2
4	4	5	34	7
5	27	10	13	

Figura 9. Estudio paredes laterales



Factor de reducción con el porcentaje de disminución del 25% = 0.893

4.6 AFECTACION DE LA VELOCIDAD MEDIA DE RECORRIDO A CAUSA DE LOS FACTORES DE REDUCCION PRODUCIDOS POR EL TÚNEL

Con los datos de velocidad media de recorrido encontrados en el análisis para el calculo de la capacidad y nivel de servicio por el método del manual del cauca se encontraron los valores afectados por los factores de reducción de la siguiente manera:

Velocidad = Velocidad media x Factores de reducción (Aspecto psicológico y Restricción lateral e Iluminación)

4.6.1 FACTORES DE REDUCCIÓN CALCULADOS

Tabla 51. Factores de reducción en cada distribución

FACTORES	Sin túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía (66%)	Sin túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía (34%)	Sin túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel (66%)	Sin túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel (34%)	Con túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía (66%)	Con túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía (34%)	Con túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel (66%)	Con túnel con el componente de vehículos que entran en el túnel (34%)
ILUMINACION	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904
RESTRICCIONES LATERALES Y ASPECTOS PSICOLOGICOS	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893

5. CONCLUSIONES

Analizada la situación de los túneles en Colombia se puede citar lo siguiente:

- Los términos de referencia no definen un proceso específico para el diseño y la construcción, sino que quedan a la libre propuesta del consultor.
- Los túneles han sido diseñados sin determinarse un nivel de servicio específico para este tipo de obras. Únicamente se tienen registro de estudios de tránsito y nivel de servicio para toda la carretera en estudio.
- Las restricciones que afectan la capacidad y nivel de servicio en un tramo a cielo abierto son:
 - Composición Vehicular
 - Distribución por sentido
 - Pendiente
 - Anchos de sección transversal (Carril, berma)
 - Estructura superficial de rodadura
 - Radio de la curva más cerrada
 - Drenajes y subdrenajes
 - Zonas de no rebase
 - Longitud del sector

En los túneles se tiene otro tipo de restricciones adicionales a éstas como:

- Luminosidad
- Restricciones Laterales
- Psicológicas

Se encontraron factores influyentes en el tránsito dentro del túnel los cuales se deben tener en cuenta para su diseño y construcción, entre ellos encontramos el sistema de ventilación ya que éste es el encargado de proporcionar aire dentro del túnel y gracias a este sistema se puede transitar con mayor seguridad y con una velocidad adecuada. Para su diseño e instalación es importante conocer el volumen de vehículos que van a transitar a través del túnel porque así se sabrá la potencia, el número de ventiladores, su secuencia y sobretodo su modo de utilización el cual puede ser longitudinal, transversal o semitransversal. Para el caso del túnel Buenavista se utiliza el longitudinal ya que el tráfico es bidireccional y se aplica las guías de diseño Austriacas RVS 9.261-Fundamentals.

Se tienen restricciones para optimizar la seguridad de los usuarios, evitar congestiones tanto ambientales como viales, entre ellas se encuentran el no transito de vehículos con combustible, gases inflamables, vehículos con cascarilla de arroz, ya que en caso de algún accidente serían los

principales propagadores de fuego y el sistema no podría evacuar todos los gases ocasionados.

Analizando el tramo del túnel Buenavista a cielo abierto con todo el componente de vehículos que transitan en la vía se encontró un nivel de servicio D obteniendo este mismo resultado con el componente de vehículos que entran al túnel lo cual significa en términos de capacidad vial que siendo un flujo libre pueden transitar todos los vehículos con una velocidad dada por el propio conductor y por lo tanto las condiciones geométricas que lo caracterizan no alcanzan a satisfacer todas las necesidades de tránsito que presenta, puesto que la vía donde se encuentra ubicado es comercial y se presenta mucho flujo vehicular de carga lo cual ocasiona congestión y trancones.

Por otra lado al realizar este mismo estudio con el túnel con todo el componente de vehículos que transitan en la vía y el que entra al túnel se encontró una variación entre nivel de servicio C y D ya que el flujo se vuelve constante debido a la disminución en el componente de algunos vehículos pesados que no están autorizados para utilizar el túnel. Eso implica, menor volumen y mejor velocidad de recorrido.

Se aplicó el objetivo para el túnel y así definir qué servicio está brindando y si lo podrá mantener para el futuro. Se observó que el TPH va a ser elevado y que el túnel no será suficiente para satisfacer todo este tránsito.

Con base en proyecciones del volumen de tráfico y su composición, se determinó el año del tráfico máximo permisible que copa la capacidad del sistema de ventilación o excede la seguridad inherente y la capacidad geométrica de la sección del túnel.

Según los resultados obtenidos de los volúmenes de tránsito futuros hacia el año 2029 se pudo hallar una tasa de crecimiento de 1.09% anual llegando a un valor cerca de 52000 vehículos como TPD lo que pasaría el tope admitido de vehículos circulantes en el túnel, lo cual conllevaría realizar un nuevo proyecto ya sea un túnel paralelo o una variante para no tener mucha congestión vehicular.

6. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos se observó que el túnel hoy es un nivel de servicio regular a bajo, por eso sería el momento de iniciar la previsión de los estudios para un túnel paralelo unidireccional que funcione igual que el Buenavista para que no se presenten dificultades en el tránsito.

Por los costos una solución inmediata para mitigar problema sería mejorar la variante de la vía antigua para que los vehículos transiten sobre esta unidireccionalmente ya sea Bogotá-Villavicencio o viceversa para que la dirección contraria transite por el túnel. Se tendría el inconveniente de los vehículos que tienen restricción de uso del túnel como:

Transporte de cargas extrapesadas y/o extradimensionadas, materiales explosivos, disolventes, combustibles, aceites, grasas, pinturas, llantas, arena, escombros y cascarilla de arroz.

Adicionalmente queda prohibido el tránsito por los túneles de:

- Peatones.
- Motocicletas.

- Bicicletas.
- Vehículos de tracción animal.
- Vehículos en labores de aprendizaje de conducción

La velocidad máxima permitida dentro de los túneles es de 60 km/hora. En todo caso, el usuario deberá estar atento a los mensajes emitidos en las pantallas de mensaje y siempre se deberá respetar el límite de velocidad que se establezca en ellas, de acuerdo con las condiciones de operación y servicio de los túneles.

Por lo cual el análisis y la decisión debe ser cuidadosamente bien tomada. En ese caso la ampliación de la variante a tres (3) carriles para permitir ese flujo, sería lo más inmediato aconsejable.

Este tema trabajado permite la continuidad para otros de mayor especificidad en el sentido de realizar interdisciplinariamente estudios estadísticos del comportamiento de conductores y vehículos a fin de determinar la incidencia de las restricciones psicológicas y físicos que produce el túnel en los usuarios.

Esto permitiría ponderar unos factores de afectación a la velocidad y por ende el nivel de servicio con mayor análisis y precisión.

BIBLIOGRAFÍA

INVIAS. Cartilla de Volúmenes de Tránsito. Bogotá: 2004.

INVIAS. Actualización de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras para los Contratos de Obra Celebrados por el Instituto Nacional de Vías. Bogotá: 26 de abril del 2006.

INVIAS. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de carriles. Bogotá: segunda versión, 1996. + Formato CD

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Cartilla Grandes obras de infraestructura para los Colombianos. Un nuevo Siglo. La Unidad S.A.

CASTELLANOS ACEROS, Horacio y TORRES SOLER, Luís Carlos. Investigación en Ingeniería. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2003. p.22.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL. Reglamento de proyecto de grado. En: Reunión Consejo de Facultad. (4° : 2004 : Bogotá). Memorias de reunión, Bogotá: 2004. 4p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CETIFICACIÓN. Tesis y otros programas de grado (QUINTA ACTUALIZACIÓN). Bogotá : ICONTEC, 2002.

RUIZ SARAY, Rosa Amparo. Estructura para la presentación escrita de los informes del Proyecto Integrador. En: ASESORÍA METODOLÓGICA (1°: 2003: Bogotá) memorias de la primera asesoría metodológica para la presentación de informes del Proyecto Integrador. Bogotá: U.S.B, 2003. 15p.

ANEXO A TABLAS MANUAL DEL CAUCA FACTORES DE CORRECCION

TABLA 1. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe)*

PEND. ASC.	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

* Inferidos de datos de campo colombianos.

TABLA 2. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)*

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDOS A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/00	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

* Tomados de un Trabajo de grado de Arciniegas y Sepúlveda.

TABLA 3. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)*

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA EN METROS	ANCHO DEL CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

* Tomados del HCM y transformados en factores de capacidad.

TABLA 4. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp)*

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10 60	20	30	40	50	
J	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
	≥5.0	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75
2	0.5	0.94	0.90	0.85	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
	≥5.0	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72

3	0.5	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75
	1.0	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75
	1.5	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73
	2.0	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	3.0	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70
	4.0	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
	≥5.0	0.84	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69
4	0.5	0.90	0.80	0.80	0.00	0.76	0.74
	1.0	0.89	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	1.5	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.69
	2.0	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68
	3.0	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.66
	4.0	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
	≥5.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64
5	0.5	0.92	0.86	0.82	0.78	0.75	0.73
	1.0	0.86	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	1.5	0.82	0.78	0.75	0.71	0.69	0.65
	2.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.63
	3.0	0.79	0.75	0.72	0.69	0.66	0.63
	4.0	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	0.62
	≥5.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62

6	0.5	0.90	0.84	0.79	0.76	0.73	0.70
	1.0	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65
	1.5	0.79	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63
	2.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62
	3.0	0.76	0.72	0.69	0.66	0.63	0.61
7	0.5	0.89	0.82	0.78	0.74	0.71	0.68
	1.0	0.78	0.74	0.71	0.67	0.64	0.61
	1.5	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	2.0	0.74	0.70	0.67	0.63	0.60	0.57
	3.0	0.72	0.68	0.67	0.61	0.58	0.56
	4.0	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
≥5.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.54	
8	0.5	0.87	0.81	0.76	0.73	0.70	0.67
	1.0	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	1.5	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	2.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.53
	3.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53
	4.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.52
	≥5.0	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.51

9	0.5	0.86	0.79	0.74	0.71	0.68	0.65
	1.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.60	0.58
	1.5	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
	2.0	0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.53
	3.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51
	4.0	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
	≥5.0	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50
	10	0.5	0.83	0.76	0.72	0.68	0.65
1.0		0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.52
1.5		0.68	0.64	0.61	0.58	0.55	0.50
2.0		0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.48
3.0		0.65	0.61	0.57	0.54	0.51	0.47
4.0		0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.46
≥5.0		0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.45
11		0.5	0.79	0.72	0.68	0.65	0.62
	1.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52
	1.5	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50
	2.0	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48
	3.0	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.47
	4.0	0.62	0.58	0.54	0.51	0.48	0.46
	≥5.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45
12	0.5	0.77	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	1.0	0.66	0.62	0.59	0.55	0.52	0.50
	1.5	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.48
	2.0	0.62	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46
	3.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.48	0.45
	4.0	0.60	0.56	0.53	0.49	0.47	0.44
	≥5.0	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43

* Tomada del trabajo de investigación de Herrera.

TABLA 5. Factores de pico horario basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)*

VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO	VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO
100	0.68	1600	0.90
200	0.70	1800	0.92
300	0.72	2000	0.93
400	0.74	2200	0.95
600	0.78	2400	0.95
800	0.81	2600	0.96
1000	0.84	2800	0.97
1200	0.86	≥3000	0.97
1400	0.89		

* Calculados usando las distribuciones de poisson y binomial y calibrados por la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia (UPTC) - Tunja.

TABLA 6. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (Vi)*

PEND. ASC. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

* Valores inferidos de datos de campo colombianos.

TABLA 7. Factores de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu)

RELACIÓN VOLUMEN/CAPACIDAD Q/C60	FACTOR DE CORRECCIÓN
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1.0	0.50

* Inferidos de la relación volumen/velocidad determinada con datos de campo colombianos.

TABLA 8. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (fsr)*

VELOCIDAD D (km/h) V ₁	IRI > 6 mm/m	IRI 4 a 6 mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA
	Mayor del 30 %	Del 15 al 30 %	Menor del 15 %
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 ó 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

* Valores inferidos de datos de campo colombianos.

TABLA 9. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb)*

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA (m)	ANCHO DEL CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.70
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

* Interpolados de los valores del HCM.

Nota: Se han realizado mediciones de velocidades altas en anchos de carril superiores a 3.65 m ó bermas incorporadas a la calzada superiores a 1.80 m y con pavimento en buen estado.

TABLA 10. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp1)*

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)					
		≥ 90	80	70	60	50	≤ 40
0	Todas	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.00
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.00
	1.5	0.76	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	≥3.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
2	0.5	x	0.00	0.91	0.95	1.00	1.00
	1.0	x	0.87	0.87	0.93	1.00	1.00
	1.5	x	0.82	0.85	0.92	0.99	1.00
	2.0	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	2.5	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	3.0	x	0.78	0.84	0.92	0.98	1.00
	≥3.5	x	0.77	0.84	0.92	0.98	1.00
3	0.5	x	0.84	0.88	0.92	0.98	1.00
	1.0	x	0.79	0.84	0.89	0.97	1.00
	1.5	x	0.75	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.0	x	0.74	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.5	x	0.73	0.79	0.87	0.95	1.00
	≥3.0	x	0.73	0.79	0.86	0.95	1.00
4	0.5	x	0.82	0.86	0.91	0.97	1.00
	1.0	x	0.77	0.81	0.87	0.95	1.00
	1.5	x	0.72	0.77	0.84	0.92	1.00
	2.0	x	0.72	0.77	0.83	0.92	1.00
	2.5	x	0.71	0.76	0.83	0.91	1.00
	3.0	x	0.71	0.75	0.82	0.91	1.00
	≥3.5	x	0.70	0.74	0.82	0.91	1.00

Continuación tabla 10.

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V ₂)						
		≥ 80	70	60	50	40	30	≤ 20
5	0.5	0.81	0.85	0.89	0.95	1.00	1.00	1.00
	1.0	0.70	0.76	0.81	0.89	0.99	1.00	1.00
	1.5	0.68	0.73	0.79	0.87	0.97	1.00	1.00
	2.0	0.67	0.72	0.78	0.86	0.97	1.00	1.00
	2.5	0.66	0.71	0.77	0.86	0.96	1.00	1.00
	3.0	0.66	0.71	0.77	0.85	0.96	1.00	1.00
	≥3.5	0.66	0.70	0.76	0.85	0.95	1.00	1.00
6	0.5	0.75	0.79	0.84	0.90	0.98	1.00	1.00
	1.0	0.64	0.69	0.75	0.82	0.92	1.00	1.00
	1.5	0.63	0.67	0.73	0.80	0.90	1.00	1.00
	2.0	0.62	0.67	0.72	0.80	0.90	1.00	1.00
	2.5	0.62	0.66	0.71	0.79	0.90	1.00	1.00
	3.0	0.62	0.66	0.71	0.79	0.90	1.00	1.00
	≥3.5	0.61	0.66	0.71	0.78	0.89	1.00	1.00

7	0.5	0.72	0.76	0.81	0.86	0.94	1.00	1.00
	1.0	0.61	0.65	0.70	0.76	0.87	1.00	1.00
	1.5	0.60	0.63	0.69	0.75	0.85	0.99	1.00
	2.0	0.59	0.63	0.68	0.74	0.84	0.98	1.00
	2.5	0.59	0.62	0.67	0.73	0.83	0.97	1.00
	3.0	0.59	0.62	0.67	0.73	0.83	0.97	1.00
	≥4.0	0.58	0.61	0.66	0.73	0.82	0.96	1.00
8	0.5	0.68	0.72	0.77	0.82	0.90	1.00	1.00
	1.0	0.58	0.61	0.65	0.72	0.80	0.95	1.00
	1.5	0.57	0.60	0.64	0.70	0.78	0.92	1.00
	2.0	0.56	0.59	0.63	0.69	0.77	0.91	1.00
	2.5	0.56	0.59	0.63	0.68	0.76	0.90	1.00
	3.0	0.56	0.59	0.62	0.68	0.76	0.89	1.00
	3.5	0.56	0.58	0.62	0.68	0.75	0.89	1.00
	4.0	0.56	0.58	0.62	0.67	0.75	0.89	1.00
≥4.5	0.55	0.58	0.62	0.67	0.75	0.89	1.00	

Continuación tabla 10.

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)						
		≥ 70	60	50	40	30	20	≤ 10
9	0.5	0.65	0.70	0.75	0.83	0.95	1.00	1.00
	1.0	0.57	0.61	0.66	0.74	0.86	1.00	1.00
	1.5	0.56	0.59	0.64	0.72	0.83	1.00	1.00
	2.0	0.56	0.59	0.63	0.71	0.82	1.00	1.00
	2.5	0.55	0.58	0.63	0.70	0.81	1.00	1.00
	3.0	0.55	0.58	0.62	0.70	0.81	1.00	1.00
	3.5	0.55	0.58	0.62	0.69	0.81	1.00	1.00
	≥4.0	0.55	0.57	0.62	0.69	0.80	1.00	1.00
10	0.5	0.61	0.65	0.71	0.79	0.91	1.00	1.00
	1.0	0.55	0.58	0.62	0.69	0.80	1.00	1.00
	1.5	0.53	0.57	0.61	0.67	0.77	0.97	1.00
	2.0	0.52	0.55	0.59	0.65	0.76	0.95	1.00
	2.5	0.52	0.55	0.59	0.65	0.75	0.94	1.00
	3.0	0.52	0.55	0.59	0.64	0.74	0.93	1.00
	3.5	0.52	0.55	0.58	0.64	0.74	0.93	1.00
	≥4.0	0.51	0.54	0.58	0.63	0.73	0.92	1.00

11	0.5	x	0.60	0.65	0.73	0.85	1.00	1.00
	1.0	x	0.55	0.59	0.64	0.74	0.93	1.00
	1.5	x	0.53	0.57	0.62	0.71	0.88	1.00
	2.0	x	0.52	0.56	0.61	0.69	0.86	1.00
	2.5	x	0.52	0.55	0.60	0.68	0.85	1.00
	3.0	x	0.51	0.55	0.60	0.68	0.84	1.00
	3.5	x	0.51	0.55	0.59	0.67	0.84	1.00
	≥4.0	x	0.51	0.54	0.59	0.67	0.83	1.00

Continuación tabla 10

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)					
		≥ 60	50	40	30	20	≤ 10
12	0.5	0.55	0.59	0.65	0.75	0.94	1.00
	1.0	0.51	0.54	0.60	0.67	0.83	1.00
	1.5	0.50	0.53	0.58	0.65	0.79	1.00
	2.0	0.49	0.52	0.57	0.63	0.78	1.00
	2.5	0.49	0.52	0.56	0.63	0.77	1.00
	3.0	0.49	0.51	0.56	0.62	0.75	1.00
	3.5	0.48	0.51	0.55	0.62	0.75	1.00
	4.0	0.48	0.51	0.55	0.62	0.75	1.00
≥4.5	0.48	0.51	0.55	0.61	0.74	1.00	

TABLA 11. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados (fp2)

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS	VOLÚMENES EN AMBOS SENTIDOS (veh/h)								
	≤50	100	200	300	400	500	600	800	≥1000
0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00
20	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.96
30	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
40	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
50	0.98	0.97	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
60	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
70	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
100	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

* Basada en el trabajo de investigación realizado por Herrera.

TABLA 12. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada del sector (V_c)*.

RADIO DE CURVATURA (m)	VELOCIDAD MÁXIMA** (km/h)
20	37
40	46
60	51
80	54
100	57
150	62
200	66
300	71
400	74
500	77

* Se supone que la curva tiene peralte adecuado.

** Valores basados en datos de campo tomados en carreteras colombianas.

TABLA 13. Velocidades en km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno *

Tipo de Terreno (Pendiente longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Plano (< 3%)	> 83	72 - 83	62 - 72	52 - 62	42 - 52	≤ 42
Ondulado (≥ 3 - < 6%)	> 68	59 - 68	51 - 59	43 - 51	34 - 43	≤ 34
Montañoso (≥ 6 - < 8%)	> 52	45 - 52	39 - 45	33 - 39	26 - 33	≤ 26
Escarpado (≥ 8%)	> 36	31 - 36	27 - 31	23 - 27	18 - 23	≤ 18

* Valores basados en datos de campo tomados en carreteras colombianas.

ANEXO B ENCUESTA SOBRE LOS ASPECTOS PSICOLÓGICOS DE LA CONDUCCIÓN POR TÚNELES

La siguiente encuesta se realizó con un grupo experimental de 50 personas equilibrados de edad y género, cuyo único requisito era que conducirían y hubieran transitado alguna vez por un túnel.

1. Que sensación siente al entrar al interior de un Túnel?
 - a. Ansiedad por salir más rápido
 - b. Miedo (fobia)
 - c. inseguridad
 - d. no siente nada

2. Que velocidad maneja antes de entrar al túnel?
 - a. 100 Km/h
 - b. 80km/h
 - c. 60 km/h
 - d. 50 km/h

3. Al entrar al túnel aumenta o disminuye la velocidad?
 - a. aumenta
 - b. disminuye

4. En que proporción disminuye la velocidad al entrar al túnel?
 - a. 50%
 - b. 25%
 - c. 0%

5. Que velocidad maneja al entrar al interior del umbral del túnel?
 - a. 100 Km/h
 - b. 80km/h
 - c. 60 km/h
 - d. 50 km/h

6. Que velocidad maneja en zona central del túnel?

- a. 80km/h
- b. 60 km/h
- c. 50 km/h

7. Que velocidad maneja a la salida del túnel?

- a. 100 Km/h
- b. 80km/h
- c. 60 km/h
- d 50 km/h

8. En que proporción aumenta la velocidad al salir del túnel?

- a. 50%
- b. 25%
- c. 0%

9. Siente desorientación mientras conduce en un túnel?

- a. Sí
- b. No

10. Que impacto es el que más le preocupa al conducir en el interior de un túnel?

- a. iluminación
- b. ventilación
- c. señalización

11. Que le genera mas carga emocional en un túnel?

- a. la entrada al túnel
- b. la salida del túnel

12. Tiene en cuenta las características estructurales del túnel?

- a. Si
- b. No

13. Se distrae usted durante el recorrido en el túnel?

- a. si
- b. no

14. Los muros blancos o claros en los túneles le dan sensación de:

- a. tensión
- b. tranquilidad

15. Cree usted que las causas de accidentes o incidentes que se presentan en un túnel son debidas a:

- a. maniobras dentro de este
- b. exceso de velocidad
- c. distracción
- d. miedos o emociones
- e. efectos de iluminación

16. Que maniobras cree usted que es la causante de mayores accidentes?

- a. salida de nichos
- b. entrada de nichos
- c. muy atento al conducir
- d. distracción
- e. no se calcula bien la distancia de frenado

17. cumple usted con la normatividad dentro de un túnel?

- a. Si
- b. No
- c. Desconoce de la normatividad

ANEXO C Encuesta del estudio del impacto que otorgan las paredes laterales del túnel Buenavista a los conductores

1,Que sensación le proporciona las paredes laterales de un túnel?

- a. Seguridad
- b. Inseguridad
- c. Miedo
- d. Claustrofobia

2,Disminuye la velocidad a causa de las paredes laterales del túnel?

- a. Si
- b. No

3,Que velocidad maneja antes de entrar al túnel

- a. 60km/h
- b. 80km/h
- c. 75km/h
- d. 50km/h

4,En que proporción disminuye la velocidad a causa de las paredes laterales del túnel?

- a. 75%
- b. 50%
- c. 25%
- d. 0%

5,Para minimizar el impacto que producen las paredes laterales del túnel que prefería:

- a. Carriles más amplios
- b. Revestimiento Claro o con imágenes de colores fuertes
- c. Iluminación en los costados de las paredes