

**SOPORTE EN LA ELABORACION DE ESTUDIOS, DISEÑOS E
INTERVENTORIAS VIALES Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTION
DE CALIDAD DE ESAO LTDA.**

SULAY PAOLA LOBO BELTRAN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

**SOPORTE EN LA ELABORACION DE ESTUDIOS, DISEÑOS E
INTERVENTORIAS VIALES Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTION
DE CALIDAD DE ESAO LTDA.**

SULAY PAOLA LOBO BELTRAN

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil**

**Director
Eduardo Castañeda
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Amado Lizarazo por brindarme la oportunidad de desarrollar la practica en su Empresa.

A los Ingenieros Saúl Alberto Florez y Javier Amado por su constante apoyo en el desarrollo de la práctica Empresarial.

Al Ingeniero Eduardo castañeda por servir de guía en el desarrollo del aporte.

A José Antonio González por su colaboración y comprensión.

*A Dios,
por ser la luz que ilumina mi vida.*

*A mis padres, Amanda y Rigoberto
por su gran amor, apoyo y comprensión
incondicional.*

*A mi hermanito Sergio,
porque su dulzura y amor me brindan fortaleza para continuar mi camino.*

*A mi hermano Marlon,
por su cariño y colaboración.*

*A mis abuelos, Flora, Carmen y Domingo
por ser guías y formadores de mi hogar.*

*A mi tía Yoly,
por su gran corazón.*

*A José,
por ser esa gran compañía en todas las circunstancias.*

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. SOPORTE EN LA ELABORACION DE ESTUDIOS, DISEÑOS E INTERVENTORIAS VIALES Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD DE ESAO LTDA	17
1.1. ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ADECUACION A TERCER CARRIL DE LA DOBLE CALZADA EXISTENTE DESDE FLORIDABLANCA (PAPI QUIERO PIÑA) HASTA PIEDECUESTA (ESTACION DE SERVICIO EL MOLINO)	17
1.1.1. Calculo de Cantidades de obra y presupuesto.	20
1.1.2. Organización y edición de informes.	20
1.1.3. Digitación de Planos.	21
1.1.4. Estudio de Transito.	21
1.2. DISEÑO GEOMETRICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA INTERSECCION A NIVEL DEL ACCESO AL PARQUE NACIONAL CHICAMOCHA SOBRE LA CARRETERA SAN GIL – BUCARAMANGA	27
1.2.1. Estudio de Transito	28
1.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE ESAO LTDA, SEGÚN NORMA ISO 9001:2000	34
1.3.1. Sistema de Gestión de Calidad.	34
1.3.2. Actividades realizadas para el mantenimiento del Sistema de Gestión de Calidad.	35
1.4. PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS	36
2. CONTRIBUCION A LA COMPRESION DE LA INGENIERIA DE TRANSITO	38
2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE UNA CARRETERA	38
2.1.1. Clasificación por competencia.	39

2.1.2. Clasificación según sus características.	40
2.1.3. Clasificación según el tipo de terreno y velocidad de diseño.	41
2.1.4. Clasificación según su función.	43
2.2. CONDICIONES DE TRÁFICO	44
2.2.1 Volumen	44
2.2.2. Transito Promedio Diario Anual, TPDA.	44
2.3. CONTEOS DE TRANSITO	45
2.3.1. Conteos Automáticos.	45
2.3.2. Conteos Manuales.	45
2.4. PROYECCIONES DE TRANSITO	46
2.5. ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO	47
2.5.1. Estimación del Nivel de servicio según el Manual de Capacidad de Carreteras, HCM	52
2.5.2. Método para el cálculo de la Capacidad según el manual colombiano	55
2.6. EJERCICIOS PRÁCTICOS APLICADOS A LA INGENIERÍA DE TRANSITO	58
3. CONCLUSIONES	110
4. RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFIA	113

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 – Tránsito Total Proyectado	25
Tabla 2. Características de la Vía Futura	26
Tabla 3. Tránsito Total Proyectado. Carretera Principal	31
Tabla 4. Tránsito Total Proyectado. Carretera de Acceso	32
Tabla 5. Tipos de Terreno	42
Tabla 6. Serie Histórica de Tránsito.	59
Tabla 7. Ecuaciones y Correlaciones TPD total y por tipo de vehiculo	61
Tabla 8. Transito Normal Proyectado	62
Tabla 9. Transito Atraido	63
Tabla 10. Transito Generado	65
Tabla 11. Transito Futuro	66
Tabla 12. Ejes Equivalentes por año	68
Tabla 13. Datos series historicas	69
Tabla 14. Datos Estadisticos	71
Tabla 15. Conteo de Vehículos	73
Tabla 16. Conversion Motocicletas	75
Tabla 17. Totalización Conteo de Vehículos	76
Tabla 18. Vehículos por periodo y por hora.	78
Tabla 19. Caracteristicas de la via	79

Tabla 20. Composición de trafico	80
Tabla 21. Equivalente de pasajeros por vehiculo en segmentos de vía	81
Tabla 22. Corrección por Anchura de carril	82
Tabla 23. Corrección por Obstáculos Laterales	83
Tabla 24. Corrección por Separación entre enlaces	84
Tabla 25. Corrección por número de accesos	84
Tabla 26. Factores de Correccion para la velocidad	85
Tabla 27. Datos Vía Duitama la Y	86
Tabla 28. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (F_{pe})	87
Tabla 29. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (F_d)	88
Tabla 30. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb})	89
Tabla 31. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (F_p)	91
Tabla 32. Datos de Campo Velocidad	93
Tabla 33. Análisis Estadístico	94
Tabla 34. Interpolación Percentil P15	96
Tabla 35. Interpolación Percentil P50	97
Tabla 36. Interpolación Percentil P85	98
Tabla 37. Interpolación Percentil P98	99
Tabla 38. Resumen Resultados Análisis Estadístico Velocidad de Punto	100
Tabla 39. Accidentalidad Año 2004	100

Tabla 40. Accidentalidad Año 2005	101
Tabla 41. Accidentalidad Año 2006	101
Tabla 42. Promedio General Anual de accidentes	103
Tabla 43. Evaluación de puntos críticos por puntajes ponderados	105
Tabla 44. Evaluación de puntos críticos por puntajes ponderados Ordenados forma Descendente	105
Tabla 45. Serie Histórica de transito	106
Tabla 46. Serie con el 95% de confiabilidad.	107
Tabla 47. Proyección de Transito	108

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Carretera Floridablanca-Piedecuesta.	17
Figura 2. Carretera San Gil-Bucaramanga	28
Figura 3. Organigrama de Calidad ESAO LTDA.	35
Figura 4. Correlacion de Trafico Promedio Diario segun conteo manual en el Tiempo	70
Figura 5. Correlacion de Trafico Promedio Diario segun conteo automatico en el Tiempo	71
Figura 6. Curvas para determinar el Nivel de Servicio	85
Figura 7. Accidentalidad 2004	102
Figura 8. Accidentalidad 2005	102
Figura 9. Accidentalidad 2006	103
Figura 10. Accidentalidad Promedio Periodo de Análisis	104
Figura 11. Proyección lineal del Transito	108

RESUMEN

TITULO: SOPORTE EN LA ELABORACION DE ESTUDIOS, DISEÑOS E INTERVENTORIAS VIALES Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD DE ESAO LTDA.*

AUTOR: SULAY PAOLA LOBO BELTRAN.**

PALABRAS CLAVES: Ingeniería, Transito, Proyecto, Vial, Estudios Guía, Problemas, Herramienta.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo es el desarrollo de una idea de contribuir a la interpretación de los diferentes conceptos enmarcados en los estudios de Ingeniería de Transito mediante una herramienta sencilla por medio de definiciones básicas explicadas detalladamente a través de ejemplos de problemas prácticos.

El desarrollo de este proyecto se realizó en dos etapas: La primera fue la interpretación y análisis los estudios que conlleva un proyecto vial, esta etapa se llevo a cabo a través de la practica empresarial ejecutada en una empresa de consultoría de obras viales, de esta etapa se obtuvo un resultado muy importante que fue la participación en la realización de estudios de transito que aportaron gran parte en el desarrollo del presente proyecto. Una segunda etapa fue la elaboración de una herramienta teórico practica a manera de guía con ejercicios aplicados a los estudios de la Ingeniería de Transito.

Con la realización de este trabajo, se cumplieron los objetivos propuestos en sus inicios, realizando un importante aporte para los desarrollos futuros de proyectos viales que se realicen dentro del marco de la Ingeniería de Transito.

* Trabajo de Grado, Modalidad Práctica Empresarial.

** UIS, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Eduardo Castañeda

ABSTRACT

TITLE: SUPPORT IN THE ELABORATION OF STUDIES, DESIGNS AND VIALS INTERVENTORY AND MAINTENANCE OF THE SYSTEM OF ADMINISTRATION OF QUALITY DE ESAO LTDA*

AUTHOR: LOBO BELTRÁN, Sulay Paola**

KEY WORDS: Engineering, traffic, project, vial, studies guide, problems, tool

DESCRIPTION:

The present project is the development of an idea of contributing to the interpretation of the different concepts framed in the studies of Engineering of Traffic by means of a simple tool by means of basic definitions explained detailedly through examples of practical problems that are executed through the realization of a managerial practice.

The development of this project was carried out in two stages: The first one was the interpretation and analysis of the studies that it bears a project vial, this stage it was carried out through the managerial practice executed in a company of consultancy of work vials, of this stage a very important result was obtained that was the participation in the realization of traffic studies that its contributed great part in the execution of the present project. A second stage was the elaboration of a theoretical practice tool by way of guide, which contains exercises applied to the studies of the Engineering of Traffic, besides definitions and concepts that are usually used in this type of studies.

With the realization of this project it was fulfilled the objectives proposed in their beginnings, carrying out an important contribution for the future developments of vials project that are carried out inside the mark of the Engineering of Traffic.

* Work of Grade. Managerial Practical modality

** Faculty of Engineering Physique Mechanics. School of Civil Engineering. Eduardo Castañeda

INTRODUCCIÓN

El medio por el cual se desarrollan las actividades económicas y sociales de una región y mediante el cual se crean círculos de intercambio comercial y cultural, son los corredores viales o más comúnmente llamadas carreteras. Para la construcción de un corredor se hace necesario realizar varios estudios e interactuar con múltiples factores.

La disponibilidad del transporte por carretera ha ofrecido varias ventajas que contribuyen a un alto nivel de vida. Sin embargo, existen diversos problemas vinculados con la modalidad del transporte por carretera; estos incluyen choques, dificultades de aparcamiento, congestión y demoras. Para reducir el impacto negativo de las carreteras es necesario recolectar información que describa el alcance de los problemas e identifique su ubicación, esta información se acopia mediante la organización y conducción de los estudios de tránsito.

Razón por la cual, un estudio de vital importancia para la construcción de un corredor vial es el Estudio de Tránsito, el cual consiste en establecer la magnitud de la demanda y composición del tránsito durante la vida útil de un proyecto, es decir, el número y tipo de vehículos que circulará por una la carretera, para con base en él, determinar las condiciones imperantes de operación vehicular.

Hace unos años Colombia vivía una situación muy crítica en cuanto a infraestructura vial se refiere, debido a la poca cantidad de Kilómetros de carreteras que existen en el país y al mal estado en que se encuentran algunas de estas carreteras. Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado una gran variedad de proyectos viales a lo largo y ancho del país.

Un factor primordial para la construcción de una carretera es que ésta funcione eficientemente a lo largo de su vida útil, es decir que sea posible transitar de una manera segura, eficaz y cómoda. Para que esto se lleve cabo, en todo proyecto vial de realizarse un adecuado estudio de tránsito que brinde la información necesaria sobre la operación vehicular de la carretera y los factores que deben tenerse en cuenta para evitar múltiples problemas que invaden una vía, tales como: Los accidentes, la congestión, el deterioro ambiental, la inseguridad, el ruido y hasta el deterioro estético.

El presente proyecto puede enmarcarse dentro de un plano de la Ingeniería de Tránsito mediante el cual se desarrollará una herramienta teórico-práctica por medio de la cual se buscará la interacción con aquellos estudiantes que deseen conocer acerca del tema.

Para la elaboración de ésta herramienta se hace necesario conocer sobre las etapas que conforman un estudio de tránsito y de los múltiples factores que intervienen dependiendo del alcance del proyecto a realizar. Por tal motivo se planean dos etapas para llevar a cabo la realización del presente proyecto:

La primera consiste en la Etapa de aprendizaje, en la cual mediante la vinculación a ESAO LTDA, empresa de Consultoría de Obras Viales, se reforzaran y adquirirán conocimientos acerca de los Estudios, Diseños e interventorías viales que se realizan en un proyecto.

La segunda etapa consiste en la Elaboración física de la herramienta teórico-práctica, utilizando de esta manera los conocimientos adquiridos en la Empresa mediante la colaboración en la variedad de estudios que se deben realizar para el diseño de un corredor vial con las mejores características técnicas, económicas y sociales.

En el caso concreto se quiere brindar al estudiante una herramienta practica documentada sobre la Ingeniería de Transito, donde se resuelvan problemas a manera de ejercicios que se presentan normalmente en el desarrollo de un proyecto vial, el cual servirá como guía para aquellos que estén interesados en conocer lo referente a la eficiente utilización de la infraestructura del transporte terrestre (operación), así como lo referente a los conceptos y estudios requeridos para adelantar los procesos de planeación y diseño geométrico y estructural de dicha infraestructura

1. SOPORTE EN LA ELABORACION DE ESTUDIOS, DISEÑOS E INTERVENTORIAS VIALES Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD DE ESAO LTDA

Durante la práctica empresarial se desarrollaron múltiples actividades, de acuerdo con esto se presentará un breve resumen de las más importantes:

1.1. ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ADECUACION A TERCER CARRIL DE LA DOBLE CALZADA EXISTENTE DESDE FLORIDABLANCA (PAPI QUIERO PIÑA) HASTA PIEDECUESTA (ESTACION DE SERVICIO EL MOLINO)

Figura 1. Carretera Floridablanca-Piedecuesta.



La carretera Floridablanca-Piedecuesta, conecta ambos municipios del departamento de Santander, la cual forma parte de la conexión entre Bucaramanga y la capital del país, Bogotá. El principal flujo vehicular es el que se genera entre Bucaramanga y Floridablanca con el municipio de Piedecuesta y viceversa, debido a la formación de una amplia zona conurbana, que ha caracterizado a Piedecuesta y Floridablanca como una zona residencial por excelencia.

Los municipios de Floridablanca y Piedecuesta se encuentran ubicados a ocho (8) y dieciocho (18) kilómetros al sur de la ciudad de Bucaramanga, respectivamente. Ambos pertenecen al Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB).

El municipio de Floridablanca tiene una altura de 925 m.s.n.m. y una temperatura media de 23°C. Con una población proyectada al presente año de 253.568 habitantes, según proyecciones del DANE. El área municipal es de 9.700 Ha. y limita por el norte con Bucaramanga y Tona, por el oriente, con Tona y Piedecuesta, por el sur con Piedecuesta y por el occidente con Girón y Bucaramanga. El territorio, en su mayor parte es montañoso y presenta variedad de temperaturas y microclimas. La jurisdicción política de Floridablanca esta conformada por ocho (8) veredas, la cabecera municipal e importantes sectores urbanizados. La zona urbana representada por la cabecera municipal, comprende la sede de la administración municipal, los servicios públicos, la plaza de mercado, el sector de servicios, las sucursales de las agencias financieras y de las instituciones descentralizadas del orden nacional, centros de salud y hospital, también los barrios, urbanizaciones y todos aquellos elementos que conforman un casco urbano.

El municipio de Piedecuesta tiene una altura de 1005 m.s.n.m. y una temperatura media de 23°C y cuenta con un área municipal de 34.400 Ha. Presenta una población de 103.014 habitantes, según proyecciones del DANE. Limita, por el

norte con Floridablanca y Tona, por el oriente, con Umpalá y Los Santos y por el occidente con Girón y Floridablanca. La mayor parte del territorio es montañosos y su relieve pertenece a la cordillera oriental (región de la Montaña Santandereana); se destaca entre los accidentes orográficos el páramo de Juan Rodríguez. Sus tierras se distribuyen en los pisos térmicos: cálido (3.500 Ha), medio (16.100 Ha), frío (9.800 Ha) y páramo (5.000 Ha), y las riegan los ríos de Oro, Hato y Manco.

El desarrollo urbano reciente, que ocurre en el área de influencia de esta carretera y el municipio de Piedecuesta, presenta generalmente un patrón suburbano disperso, esparcido en una gran área, con muy contadas excepciones.

Los municipios de Floridablanca y Piedecuesta también presentan producción agrícola y pecuaria en partes de la zona rural. Su producción se basa en el café, caña de azúcar, frutas, productos avícolas y porcícolas. Su ganadería es buena pero escasa.

El proyecto a desarrollar es el diseño vial de la ampliación a tres carriles de la vía Floridablanca-Piedecuesta, de manera que permita la circulación exclusiva de un carril al Sistema Metropolitano de Transporte METROLINEA, con los dos carriles restantes operando como actualmente esta funcionando, para una extensión de ocho (8) kilómetros, entre los sectores comprendidos de "Papi Quiero Piña" (intercambiador de la entrada al casco urbano antiguo de Floridablanca) y la estación de servicio "El Molino" ubicada en el municipio de Piedecuesta, siendo este el alcance del presente estudio.

La vía existente corresponde a una doble calzada por cada sentido de circulación, con un ancho de calzada que varía entre 7 y 8 metros por cada sentido, cuya superficie de rodadura está conformada por una estructura de concreto asfáltico, base y subbase. Una fotografía de la carretera y sus características se pueden apreciar en la Figura 1.

La región por la cual discurre la carretera corresponde a una topografía ondulada y plana en su mayor parte.

1.1.1. Calculo de Cantidades de obra y presupuesto. Las cantidades de obra para cada ítem se calcularon con base en los planos, teniendo en cuenta la Especificaciones Generales de Construcción para la Obra.

Para el estudio de precios unitarios, se obtuvo información de los costos básicos de la región, como equipos, materiales y mano de obra, teniendo en cuenta además, los factores de producción y las condiciones específicas de la región que inciden en los precios unitarios de los diversos ítems.

1.1.2. Organización y edición de informes. Se organizaron y editaron los informes de:

- Hidrología e Hidráulica
- Transito
- Pavimentos
- Geología y geotecnia
- Suelos para el diseño de fundaciones
- Estabilidad y estabilización de taludes
- Diseño Estructural
- Diseño Geométrico y Señalización
- Cantidades de Obra y Presupuesto

Cada informe se revisó y se organizó junto con los títulos, tablas, anexos, páginas y figuras correspondientes. Luego de revisados se imprimieron y se empastaron para ser entregados.

1.1.3. Digitación de Planos. Cada informe lleva consigo graficas y figuras que se editaron en Autocad.

Además se digitalizaron curvas de nivel, ríos, cuencas, urbanizaciones y demás información necesaria para realizar los estudios y diseños.

Se arreglaron las secciones transversales graficadas por el programa Eagle Point y se editaron los rótulos para cada plano.

Se digitaron las redes de servicio existentes y futuras, es decir las que deben modificarse debidos al alcance del proyecto. Para ello se recopiló información correspondiente a las redes de teléfono, energía, acueducto y alcantarillado de la zona que interviene el proyecto.

1.1.4. Estudio de Transito. Se elaboró el estudio de transito que contiene, el Número de Ejes Equivalentes a 8.2 toneladas, y Capacidad y Niveles de Servicio correspondientes a la vía de ocho (8) kilómetros entre Floridablanca y Piedecuesta, por la ampliación a tres carriles de la citada vía, para la entrada en funcionamiento del Sistema Metropolitano de Transporte Masivo METROLINEA. El análisis de capacidad y Niveles de Servicio se realizó para condiciones actuales y para el final del período de diseño de la vía pavimentada, siguiendo el método registrado en el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, del Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca de 1996.

En este volumen se consignó la descripción y resultados del análisis adelantado en el estudio de Tránsito, básicos para definir y adoptar la sección transversal de diseño.

- **Metodología.** La metodología que se siguió para la ejecución del Estudio de Tránsito se resume en los siguientes puntos:

- **Recopilación y Análisis de la Información Existente.** Se emplearon básicamente datos de población según censos, serie histórica del TPD y otros factores como producción, planes de desarrollo etc., que proporcionaron elementos de correlación para la adopción de los parámetros de crecimiento

El Instituto Nacional de Vías presenta una serie histórica para la carretera Floridablanca-Piedecuesta, en la estación de conteo No. 146, cuyos resultados han sido registrados de manera sistemática año tras año, la cual permitió un excelente conocimiento del tránsito que ha circulado por esta vía, pudiéndose hacer un buen análisis de la proyección que tendrá el tránsito futuro en los siguientes años. De esta serie histórica, se tuvo en cuenta la registrada en los últimos veinte (20) años, debido a que este período de tiempo es el más representativo en las afectaciones del tránsito de esta carretera, en donde se ha presentado un incremento del tránsito vehicular desde y hacia Piedecuesta por el incremento poblacional de ese municipio y la mejora de la carretera a doble calzada en este período de tiempo

Además se recopiló la información de rutas y frecuencias de los buses urbanos que circulan actualmente por esta vía, que serán afectados por la implementación del METROLINEA. Esta información se obtuvo de las empresas Transpiedecuesta y Villa de San Carlos.

- **Adopción de los Parámetros de Crecimiento.** Con base en un análisis de los diferentes parámetros de crecimiento que más se adaptaron a las

características de la región y en el índice de crecimiento con base en el análisis de regresión de la serie histórica se determinó el tránsito futuro.

- **Cálculo del Tránsito Normal Futuro:** Se aplicó la tasa de crecimiento adoptada a los registros de TPD para obtener el tránsito normal en el período de diseño. La evolución de este tipo de tránsito usualmente se hace partiendo del comportamiento histórico que han tenido los volúmenes vehiculares durante los años anteriores. La evaluación de esos años se efectuó con análisis de regresión lineal, exponencial, logarítmica y potencial para el TPD de la serie histórica, así como a los automóviles, buses y camiones. De este análisis para el TPD total y por tipo de vehículo, se tomó la regresión que mejor correlación presentó, la cual permitió proyectar el tránsito normal que tendrá la vía en su periodo de diseño.
- **Cálculo del Tránsito Atraído:** A través de un análisis teórico aproximado, se estimó que para esta vía no se presenta incremento del tránsito atraído, debido a la característica del proyecto, en el cual se adecuara a tres carriles en cada sentido para permitir la movilización de los buses del METROLINEA, y los carriles restantes quedarán operando como existe actualmente.

La entrada en funcionamiento del sistema de transporte masivo producirá una reducción del tránsito proyectado de buses, debido a que los buses de transporte urbano que en este momento circulan por esta vía, buscarán su adaptación a trabajar como colectores o alimentadores del Sistema METROLINEA, o buscarán otras rutas fuera del actual corredor, que estará cubierto completamente por el Sistema de Transporte Masivo. Para calcular esta reducción del número de buses, se obtuvo la información del número de rutas y frecuencias que actualmente circulan entre Piedecuesta y Bucaramanga en las empresas que prestan este servicio, las cuales son Transpiedecuesta y Villa de San Carlos.

- **Tránsito Generado:** De acuerdo a las características de la zona, se determinó que para la vía Floridablanca-Piedecuesta este tipo de tránsito no será incrementado, debido a que la obra proyectada lo que permite es dejar operativamente la carretera como esta en este momento, por lo que este tipo de tránsito no se presentará en este proyecto.

- **Cálculo del Tránsito Total:** El tránsito total proyectado se obtiene con la adición del tránsito normal, el tránsito atraído y el tránsito generado. Sin embargo, para este caso se obtendrá restando el Tránsito Atraído al Tránsito Normal Futuro, debido a las razones expuestas anteriormente.

- **Calculo de Tránsito Equivalente:** Para el cálculo del tránsito equivalente por carril de diseño, se debe determinar la distribución porcentual de vehículos pesados de acuerdo con las condiciones de tránsito, en la distribución direccional (Fd) de los vehículos comerciales se presenta una distribución del 50% en cada dirección. Posteriormente, se corrigió el número de vehículos comerciales en cada dirección por un factor de distribución por carril (Fca) en función del número de carriles en cada sentido, que para el caso de una vía de doble calzada en cada dirección es de 0,9.

- **Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio:** Para el cálculo del Factor de Hora Pico (FHP), se efectuó un conteo manual cada 15 minutos de las horas críticas de circulación, determinadas con la información horaria tomada en el último conteo efectuado por el INVIAS en el año 2004, el cual arrojó el día Jueves como el de mayor volumen de tránsito en las horas pico.

Para el estudio de capacidades y niveles de servicio se hizo un análisis de las condiciones de operación de la vía existente y su comportamiento futuro, alcanzado el periodo de diseño de veinte (20) años, quedando operando con las características actuales, excepto el carril exclusivo para el Sistema de Transporte

Masivo. Estos análisis se realizaron siguiendo la metodología proporcionada por la Asociación Técnica de Carreteras (USA) en el HIGHWAY CAPACITY MANUAL (Manual de Capacidad de Carreteras), Edición 2000.

- **Resultados y Observaciones.** El tránsito total proyectado se obtuvo, para un período de 20 años a partir del año 2006. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 – Tránsito Total Proyectado

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2006	31962	27649	1302	3011
2007	33338	28882	1401	3055
2008	34710	30115	1496	3099
2009	36079	31348	1588	3143
2010	37445	32581	1677	3187
2011	38807	33814	1762	3231
2012	40165	35047	1843	3275
2013	41520	36280	1921	3319
2014	42870	37513	1994	3363
2015	44217	38746	2064	3407
2016	45559	39979	2129	3451
2017	46897	41212	2190	3495
2018	48230	42445	2246	3539
2019	49559	43678	2298	3583
2020	50883	44911	2345	3627
2021	52202	46144	2387	3671
2022	53516	47377	2424	3715
2023	54824	48610	2455	3759
2024	56128	49843	2482	3803
2025	57425	51076	2502	3847
2026	58717	52309	2517	3891

Fuente: Autor del proyecto

Según la Tabla 1, la composición vehicular proyectada promedio es la siguiente: Autos 88%, Buses 4% y Camiones 8%.

- El tránsito equivalente proyectado en el período de diseño, se calculó como la sumatoria del tránsito equivalente de cada uno de los años de la proyección,

multiplicado por los días de afectación (365) respectivos y por los correspondientes factores de distribución direccional (0.5) y por carril (0.9). Esto dio como resultado un Transito Equivalente de 41.594560×10^6 Ejes Equivalentes de 8.2 toneladas, en 20 años de vida útil.

- En el sentido Piedecuesta-Floridablanca, la hora de mayor tránsito se presentó entre las 6:15 a.m. y 7:15 a.m., con un volumen de transito de 1274 vehículos y el FHP de 0.84. En el sentido Floridablanca-Piedecuesta, la hora de mayor tránsito se presentó entre las 6:30 a.m. y 7:30 a.m., con un volumen de transito de 1139 vehículos y el FHP de 0.92.

- El volumen de servicio que se presentará en 20 años será de 2236 Veh/h en el sentido Floridablanca-Piedecuesta y 2739 Veh/h para el sentido Piedecuesta-Floridablanca, según las características de vía mostradas en la Tabla 2:

Tabla 2. Características de la Vía Futura

	SENTIDO 1	SENTIDO 2
Sentido del Trafico	Ascendente	Descendente
Sentido Vía	F/blanca- P/cuesta	P/cuesta- F/blanca
Longitud del Tramo	∠0.5 millas	
Pendiente	1.5 %	
Número de Carriles	2 en cada sentido	
Ancho de Carril	3.50 m	
Distancia a Obstáculos Laterales	0.5 m	
Velocidad del Proyecto	60 KPH	

Fuente: Autor del proyecto

1.2. DISEÑO GEOMETRICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA INTERSECCION A NIVEL DEL ACCESO AL PARQUE NACIONAL CHICAMOCHA SOBRE LA CARRETERA SAN GIL – BUCARAMANGA

La zona de influencia del proyecto corresponde a una zona montañosa del departamento de Santander, en jurisdicción del municipio de Aratoca, sobre la carretera Nacional San Gil-Los Curos, donde por la cercanía al cañon del Chicamocha y lo agreste de su paisaje se desarrollo el proyecto del Parque Nacional del Chicamocha, mejor conocido como el Parque de la Santadereanidad, en un área poco habitada y de economía rural. El uso del suelo básicamente es para la industria agropecuaria, que por las características escarpadas de la zona y la poca fertilidad de los suelos, no se desarrolla en toda su capacidad.

La proximidad del parque a la carretera San Gil – Los Curos, que comunica a Bucaramanga con Bogota y el interior del país, ha permitido el desarrollo de este proyecto turístico, que se espera mejore las características económicas de la zona y de los pocos pobladores que habitan la zona de influencia.

La CORPORACION PARQUE NACIONAL CHICAMOCHA, contrató con la firma ESAO LTDA, el diseño geométrico a nivel de la intersección de acceso al Parque Nacional Chicamocha sobre la carretera San Gil - Bucaramanga.

Figura 2. Carretera San Gil-Bucaramanga



Los estudios y diseños de este proyecto, se basan principalmente en la necesidad de organizar los flujos de entrada y salida al Parque Nacional Chicamocha, mediante una intersección a nivel ubicada sobre la vía Bogotá – Bucaramanga frente al acceso al Parque.

1.2.1. Estudio de Transito. El objetivo general y alcance del estudio de transito, es el establecer la magnitud de la demanda y composición del tránsito durante la vida útil del proyecto, es decir, el número y tipo de vehículos que circulará por la carretera, para con base en él, determinar las condiciones imperantes de operación vehicular.

- **Metodología.** La metodología a seguir para la ejecución del Estudio de Tránsito se resume en los siguientes puntos:

- **Recopilación y Análisis de la Información Existente.** Se emplearon básicamente datos de serie histórica del TPD y otros factores como producción, planes de desarrollo etc., que proporcionen elementos de correlación para la adopción de los parámetros de crecimiento.

El Instituto Nacional de Vías presenta una serie histórica para la carretera San Gil-Los Curos, en la estación de conteo No. 143, cuyos resultados han sido registrados de manera sistemática año tras año, la cual permitió un excelente conocimiento del tránsito que ha circulado por esta vía, pudiéndose hacer un buen análisis de la proyección que tendrá el tránsito futuro en los siguientes años.

De esta serie histórica, se tuvo en cuenta la registrada en los últimos veinte (20) años, igual al periodo en que se proyectará el tránsito, debido a la importancia de la carretera.

- **Cálculo del Tránsito Normal Futuro.** La evolución de este tipo de tránsito usualmente se hace partiendo del comportamiento de la serie histórica que han tenido los volúmenes vehiculares durante los años anteriores. Para la carretera principal la evaluación de esos años se efectuó con análisis de regresión lineal, exponencial, logarítmica y potencial para el TPD de la serie histórica, así como a los automóviles, buses y camiones.

De este análisis para el TPD total y por tipo de vehículo, se tomó la regresión que mejor correlación presentó, la cual permitió proyectar el tránsito normal que tendrá la vía en su periodo de diseño.

- **Cálculo del Tránsito Atraído.** Para este proyecto no se consideró este tipo de tránsito, debido a que el tránsito que se presenta es el Generado.

- **Cálculo del Tránsito Generado.** Para el este proyecto se estimó que el mayor tránsito generado es el de automóviles por ser el turismo el principal atractivo, por este motivo, se estimó el incremento vehicular global de autos, buses y camiones en un 5% del tránsito proyectado en la carretera principal, considerando los nuevos viajes que el parque pueda generar, siendo este un indicador adecuado teniendo en cuenta que el tránsito generado por turismo principalmente es de automóviles, que no causa mayor daño en el pavimento.

Según estudios previos esta cifra oscila entre el 5% y 15%, por lo tanto se estimó el menor valor del 5% en todo tipo de vehículo, incluyendo vehículos pesados que nos permita calcular un mayor número de ejes equivalentes.

- **Cálculo de Tránsito Total.** Se sumó el tránsito normal y el generado, para obtener el tránsito total esperado al final del período de diseño.
- **Calculo de Tránsito Equivalente.** Para el cálculo del tránsito equivalente por carril de diseño, se determinó la distribución porcentual de vehículos pesados de acuerdo con las condiciones de tránsito, en la distribución direccional (F_d) de los vehículos comerciales se presenta una distribución del 50% en cada dirección.

Posteriormente, se corrigió el número de vehículos comerciales en cada dirección por un factor de distribución por carril (F_{ca}) en función del número de carriles en cada sentido, que para el caso de una vía de dos carriles es de 1,0.

- **Análisis del Retorno.** Este análisis se efectuó para la hora pico que se estimó con base en el número de visitantes y el número de vehículos del día mas congestionado.

- **Resultados y Observaciones.** El tránsito total proyectado se obtuvo para un período de 20 años a partir del año 2007. Los valores obtenidos para la carretera principal se muestran en la Tabla 3.

Para la carretera de acceso se consideró un incremento del tránsito total similar al de la carretera principal, calculado en 1.4%, por lo que el tránsito total proyectado para esta carretera es el mostrado en la Tabla 4.

Tabla 3. Tránsito Total Proyectado. Carretera Principal

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2007	3277	1597	408	1272
2008	3329	1617	421	1291
2009	3380	1636	434	1310
2010	3431	1655	446	1330
2011	3483	1673	459	1351
2012	3534	1691	471	1372
2013	3586	1707	484	1395
2014	3637	1724	497	1416
2015	3689	1740	509	1440
2016	3740	1756	522	1462
2017	3792	1771	534	1487
2018	3843	1787	547	1509
2019	3894	1802	560	1532
2020	3946	1817	572	1557
2021	3997	1830	585	1582
2022	4049	1844	597	1608
2023	4100	1857	610	1633
2024	4152	1871	623	1658

2025	4203	1885	635	1683
2026	4255	1897	648	1710

Fuente: Autor del Proyecto

Tabla 4. Tránsito Total Proyectado. Carretera de Acceso

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2007	512	323	159	31
2008	519	327	161	31
2009	526	331	163	32
2010	533	336	165	32
2011	540	340	167	32
2012	548	345	170	33
2013	556	350	172	33
2014	564	355	175	34
2015	572	360	177	34
2016	580	365	180	35
2017	588	370	182	35
2018	596	375	185	36
2019	604	381	187	36
2020	612	386	190	37
2021	621	391	193	37
2022	630	397	195	38
2023	639	403	198	38
2024	648	408	201	39
2025	657	414	204	39
2026	666	420	206	40

Fuente: Autor del Proyecto

El cálculo del tránsito equivalente proyectado en el período de diseño para la carretera principal y la de acceso, se estimó como la sumatoria del tránsito equivalente de cada uno de los años de la proyección, multiplicado por los días de afectación (365) respectivos y por los correspondientes factores de distribución direccional (0.5) y por carril (1.0). Esto dio como resultado un tránsito Equivalente de 19.312910×10^6 Ejes de 8.2 toneladas en 20 años de vida útil para la carretera principal y de 2.071280×10^6 Ejes de 8.2 toneladas en 20 años de vida útil, para la carretera de acceso.

Para las vías en las que circulara el tránsito que se dirige y sale del parque de la santadereanidad, se consideró con base en el número de visitantes que tendrá el parque al año, estimado en 397000, equivalentes a 7352 visitantes semanales en promedio, de los cuales los días de mayor uso serán el sábado y domingo, lo que representaría el 90% de visitantes que tendrá el parque durante la semana, siendo el número de usuarios de 3309 para cada día del fin de semana.

Se tienen planeados el empleo de 20 buses, con capacidad de 40 pasajeros cada uno, lo que equivaldría a 800 pasajeros transportados por este modo de transporte. Los visitantes que se transportan por automóviles en un día de fin de semana corresponden a 2509, resultado que se obtiene al sustraer el número de pasajeros que emplearían los buses. Considerando 4 pasajeros por vehículo, resulta un total de 627 automóviles en el día de mayor uso.

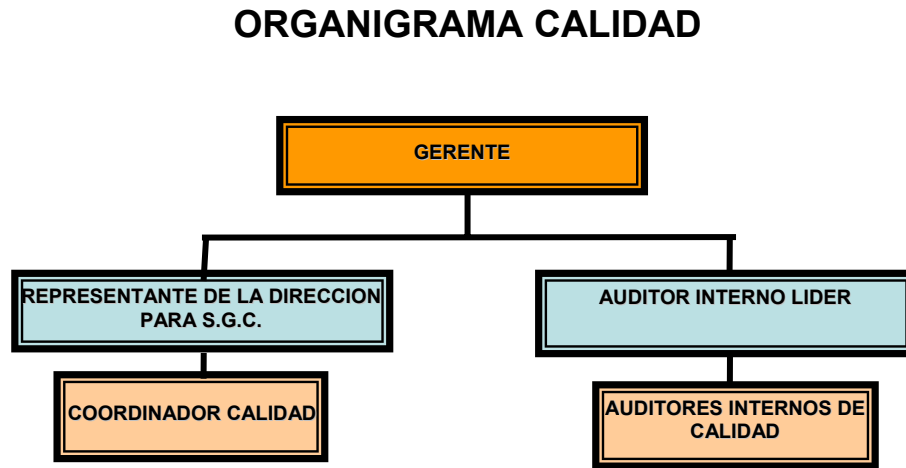
El número de horas que trabajará el parque es de 9 horas, lo que equivaldría a 72 vehículos por hora. Considerando que el 50% de los vehículos se dirigen hacia Bogotá y municipios aledaños entre el parque y Bogotá, y el otro 50% proviene del Área Metropolitana de Bucaramanga, los accesos y salidas presentarán un promedio de 18 vehículos por cada 15 minutos, equivalentes a un valor de 1.2 vehículos por minuto en cada intersección del retorno con los carriles de la vía nacional.

1.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE ESAO LTDA, SEGÚN NORMA ISO 9001:2000

1.3.1. Sistema de Gestión de Calidad. Los servicios ofrecidos actualmente por la Empresa ESAO Ltda. son: construcciones, asesorías, interventorías, diseños de ingeniería, estudios viales y ambientales, gerencia de proyectos, suministros y coordinación, programación y control de proyectos, los cuales presta cumpliendo las normas técnicas exigidas y los requisitos exigidos y pactados con los clientes.

El Sistema de Gestión de Calidad de la empresa esta diseñado con la intención de asegurar que los servicios que ofrece cumplan y excedan los requerimientos técnicos establecidos por la empresa, con el fin de prestar un servicio confiable, oportuno, en condiciones económicas, tecnológicas y de diseño, que preserven los recursos naturales, el medio ambiente y satisfagan los requerimientos de los clientes. Por esta razón, ESAO Ltda. establece, documenta, implementa y mantiene su sistema de gestión de la calidad además de mejorar continuamente su eficacia de acuerdo con los requisitos establecidos en la ISO 9001:2000, el cual se puede ver su estructura organizacional en la Figura 3.

Figura 3. Organigrama de Calidad ESAO LTDA.



1.3.2. Actividades realizadas para el mantenimiento del Sistema de Gestión de Calidad.

- Elaboración Plan de Calidad para la Interventoría para la conservación de los puentes Mesetas, Mestizos y Alejandra de la carretera Sardinata –Cúcuta, Ruta 7009.
- Elaboración Plan de Calidad para la Interventoría para la Atención obras de emergencia para la Estabilización de la banca en el PR112+850 de la carretera Ocaña – Sardinata (7008).
- Realización de Visitas de Seguimiento al Sistema de Gestión de la Calidad a las Interventorías de San Vicente de Chucuri, Ibagué y Puerto Wilches.
- Redacción y edición de Actas de Calidad durante los meses de Junio a Diciembre de 2006.

- Cálculo del Presupuesto de la Calidad durante los meses de Junio a Diciembre de 2006.
- Actualización de Indicadores de Calidad durante los meses de Junio a Diciembre de 2006, según la frecuencia de cálculo de cada uno.
- Control de la documentación de calidad, mediante la revisión y actualización de formatos y fichas técnicas.
- Identificación de No Conformidades e Implementación de Acciones correctivas y preventivas.
- Creación de nuevos documentos (5 formatos y 5 instructivos) que servirán de apoyo al Sistema de Gestión de Calidad.
- Preparación Auditoria Interna realizada en el mes de Octubre de 2006.
- Implementación del Sistema de las nueve (9) eses, como apoyo al sistema de Calidad.

1.4. PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS

La elaboración de una propuesta trae consigo múltiples documentos que deben presentarse dependiendo de la entidad contratante, sin embargo se las actividades más representativas fueron:

- Búsqueda en Internet de propuestas en las que la empresa pudiese participar ya fuese por Licitación Pública o Contratación Directa mediante entidades

contratantes como el INVIAS, Alcaldías, Gobernaciones, IDU, Cámara de Comercio de Bucaramanga; entre otras.

- Lectura de los términos de referencia o bases de contratación e identificación de documentos requeridos.
- Elaboración de cartas y anexos solicitados.
- Búsqueda de documentos requeridos tales como: Registro Único de Proponentes, Registro Único Tributario, Pólizas, Información financiera; entre otras.
- Sustentación de contratos para la Experiencia Especifica y General.
- Diligenciamiento de formatos solicitados en los términos o bases de contratación.
- Elaboración de presupuesto y discriminación de costos de la propuesta.
- Fotocopiado, anillado y envoltura de cada sobre requerido.
- Logística para la entrega de la propuesta.
- Revisión constante por medio de Internet de temas relacionados con la propuesta entregada tales como: Adendas, resoluciones, orden de elegibilidad y artículos.

2. CONTRIBUCION A LA COMPRESION DE LA INGENIERIA DE TRANSITO

En el presente capítulo se exponen los conceptos de gran importancia en la realización de estudios de tránsito y fundamentales para comenzar con el desarrollo de la guía de ejercicios prácticos basados en estudios de Ingeniería de Tránsito.

2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE UNA CARRETERA¹

La carretera es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad.

De acuerdo a las condiciones de tránsito y la funcionalidad de la mismas, estas pueden ser proyectadas como uno o varios sentidos de circulación o de uno o varios carriles por circulación.

Las carreteras pueden ser definidas por diversos factores que tienen que ver con su importancia, categoría, requerimientos técnicos, los cuales la definen dentro de un sistema vial. Algunos de estos factores se mencionan a continuación:

- **Institucionales:** están relacionados con las necesidades de infraestructura vial que se evidencian por la búsqueda del control del orden público y la soberanía nacional. También están enmarcadas en los planes de desarrollo nacionales y regionales para el sector transporte.

¹ MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS. Instituto Nacional de Vías, 1998.

- **Operacionales:** referidas a las características del servicio para la cual la carretera esta proyectada, en cuando a diversos aspectos de volumen y características del transito actual y futuro, velocidad de operación, aspectos de seguridad y comediada para los usuarios.
- **Físicos:** son aquellos factores relacionados con la naturaleza del terreno físico sobre el cual será proyectada la carretera, los cuales le imponen restricciones al diseño de la vía, como son la topografía, hidrografía, geología y climatología de la zona de influencia del proyecto.
- **Humanos y ambientales:** se relacionan con las características de comunidad que será beneficiada por el desarrollo de la infraestructura de transporte, como son la actividades económicas de la zona de influencia, los usos del suelo, costumbres de la población y efectos ambientales que pueda causar la construcción de la vía.
- **Costos:** es uno de los aspectos que más restringe el diseño y construcción de carreteras deben distinguirse los costos iniciales de construcción, los costos de operación para los usuarios y los costos de mantenimiento y rehabilitación a lo largo de la vida operativa del proyecto.

Las carreteras se pueden clasificar de acuerdo a diferentes parámetros:

2.1.1. Clasificación por competencia. Se refiere a la importancia institucional y administrativa que tenga la vía dentro del país, y a las entidades que están a cargo de su construcción, mantenimiento y operación.

- **Carreteras nacionales.** Son aquellas carreteras que están a cargo del Instituto nacional de vías.

- **Carreteras departamentales.** Son aquellas vías que son propiedad de los Departamentos, o que han sido transferidas a estos por parte del INVIAS (Red Secundaria) o del Fondo Nacional de Caminos Vecinales (Red Terciaria).
- **Carreteras distritales y municipales.** Son aquellas vías que están a cargo del Municipio o del distrito, que pueden ser urbanas o suburbanas, dependiendo de la cercanía al casco urbano del Municipio.
- **Carreteras veredales o vecinales.** Son aquellas vías que conectan a las veredas o sitios alejados de la red nacional, y que están a cargo del Fondo Nacional de Caminos Vecinales.

2.1.2. Clasificación según sus características. Esta clasificación esta ligada a las características geométricas de operación que brinda la vía a los usuarios en aspectos como velocidad de operación, capacidad y nivel de servicio.

- **Autopistas:** Son las vías de mejores especificaciones técnicas, en donde su característica primordial es la alta velocidad a la cual los usuarios pueden transitar. Son vías con calzadas divididas físicamente por un separador y que pueden tener dos o más carriles por sentido de circulación y que posee control total de accesos y de salidas, es decir que las entradas y salidas de vehículos de la carretera se hacen exclusivamente con intersecciones a desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras. Proporcionan un tipo de flujo continuo, sin restricciones de pares o intersecciones semaforizadas.
- **Carreteras multicarriles:** Son carreteras divididas con dos o más carriles por sentido que pueden o no tener separador físico entre los sentidos, con control total o parcial de accesos, es decir que se pueden establecer entrada o salidas de flujo de la vía con vías de servicio con entradas y salidas específicas. Se permiten intersecciones a nivel.

- **Carreteras de dos carriles:** Son aquellas que tienen una sola calzada con un carril por sentido de circulación, con intersecciones a nivel y accesos directos desde sus márgenes. Dependiendo del volumen de tráfico para el cual estén proyectadas y de las velocidades de operación que se deseen, pueden tener ciertas especificaciones muy variadas entre ellas y entre tramos de una misma carretera.

Son las vías más comúnmente diseñadas y construidas en nuestro medio, debido a las restricciones que se tienen en los diferentes factores que enmarcan una vía, como son el relieve complicado que presenta la topografía nacional, y la escasez de recursos económicos que hay en el país que no permiten hacer vías de mejores especificaciones.

2.1.3. Clasificación según el tipo de terreno y velocidad de diseño. En Colombia se tienen cuatro tipos de terreno, de acuerdo a las pendientes transversales y longitudinales que presente la vía. Estos son: plano, ondulado, montañoso y escarpado.

En la Tabla 5 se pueden apreciar los rangos de pendientes para cada tipo de terreno.

La pendiente longitudinal del terreno es aquella medida en el sentido del eje de la vía.

La pendiente transversal del terreno es aquella medida en el sentido perpendicular al eje de la vía.

Tabla 5. Tipos de Terreno

PENDIENTE TRANSVERSAL (%)	TIPO DE TERRENO
0 - 3	Plano
3 - 7	Levemente inclinado
7 - 12	Inclinado
12 - 25	Moderadamente abrupto
25 - 50	Abrupto
50 - 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

Fuente: Manual de Diseño Geométrico para carreteras. 1998

De acuerdo al tipo de terreno y a las características de la vía, esta puede manejar diferentes rangos para la velocidad de diseño según las especificaciones dadas por el Instituto Nacional de Vías dadas en el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras de 1998.

De acuerdo al tipo de terreno y a la velocidad que los vehículos pueden desarrollar en la vía, estas pueden clasificarse en:

- **Carretera de terreno plano.** Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que permiten a los vehículos pesados transitar aproximadamente a la misma velocidad que los vehículos livianos.
- **Carretera de terreno ondulado.** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a transitar a velocidades

inferiores a los de pasajeros, por intervalos de tiempos no muy largos de velocidad sostenida en rampa.

- **Carretera de terreno montañoso.** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes.
- **Carretera de terreno escarpado.** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en rampa menores que para terrenos montañosos, para distancias significativas o a intervalos considerables de tiempo.

2.1.4. Clasificación según su función. De acuerdo a la importancia que tengan las carreteras en el ámbito económico y social del país, también pueden clasificarse las carreteras de acuerdo a las siguientes clases:

- **Principales o de primer orden.** Son las carreteras que unen capitales de Departamentos que tienen como función la integración de centros principales de producción y consumo de la economía del país. En estas carreteras se esperan volúmenes altos de carga a velocidades apreciables.

En Colombia estas carreteras se dividen en troncales con orientación Norte-Sur, y transversales con orientación Este-Oeste.

- **Secundarias o de segundo orden.** Son aquellas que conectan cabeceras municipales entre si o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una vía principal. Sus especificaciones y características de operación serán menores que las vías principales.

- **Terciarias o de tercer orden.** Son aquellas que conectan cabeceras municipales entre si, o estas con sus veredas. Son caminos de penetración locales, conformados principalmente por caminos vecinales y carreteras municipales. Son de bajos requerimientos de velocidad y volúmenes de transito, por ende de bajas especificaciones.

2.2. CONDICIONES DE TRÁFICO²

2.2.1 Volumen. Se define como el número de vehículos que pasan por un punto determinado, en un periodo determinado, este último puede ser al año, el mes, el día o la hora o la fracción de hora.

2.2.2. Transito Promedio Diario Anual, TPDA. Es el promedio de los conteos de 24 Horas recolectados todos los días del año. Los TPDA se usan en varios análisis de transito y transporte para:

- La estimación del ingreso, debido a los usuarios de las carreteras de peaje
- El cálculo de las tasas de accidentes
- Establecimiento de las tendencias de volúmenes de transito
- Evaluación de la factibilidad económica de los proyectos de carreteras
- Desarrollo de autopistas y de sistemas de calles arteriales principales
- Desarrollo de los programas de mejora y mantenimiento

2.2.3. Transito Promedio Diario, TPD. Es el promedio de los conteos de 24 horas recolectadas en un número de días mayor que uno, pero menor que un año. Los TPD se usan para:

² GARBER, Nicholas; HOEL, Lester: "Ingeniería de Transito y Carreteras"; 3ª Ed. México, 2005.

- La planificación de las actividades de la carretera
- La medición de la demanda actual
- La evaluación del flujo existente de tránsito

2.3. CONTEOS DE TRANSITO³

Existen básicamente dos métodos tradicionales cuando lo que se pretende es fijar las bases de proyección:

2.3.1. Conteos Automáticos. Utilizan como su nombre lo indica contadores automáticos de tipo magnético, electrónico o simplemente por presión de los ejes sobre mangueras con en extremo obstruido. Se utilizan generalmente para conteos de larga duración o permanentes y tiene como característica principal, el no permitir la determinación de la composición del tránsito.

2.3.2. Conteos Manuales. Usualmente ejecutados sobre una serie mas densa de estaciones, a lo largo y ancho de la red vial, tratando de reflejar tramos homogéneos. Con este tipo de conteos, efectuados sobre sencillos formularios que permiten detectar los volúmenes horarios y la composición del tránsito, se pretenden suplir las deficiencias de los conteos automáticos y captar las principales características del comportamiento del tránsito para tramos específicos de una carretera.

³ CASTELLANOS NIÑO, Víctor Manuel. *Principios Fundamentales de Diseño Vial*. Bucaramanga, 1993.

2.4. PROYECCIONES DE TRANSITO⁴.

Los volúmenes de tránsito futuro, TF, se deducen a partir del tránsito actual, TA, y del incremento del tránsito, IT, esperado al final del período de diseño.

De acuerdo con esto podemos establecer la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

El tránsito actual, TA, se define como el volumen de tránsito que utilizará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de entrar completamente en servicio. Se compone de tránsito existente, TE, antes de la mejora, más el tránsito atraído, TAt, desde otras carreteras.

$$TA = TE + TAt$$

El incremento del tránsito, IT, es el volumen de tránsito que se espera usará la carretera en el futuro. Se compone del crecimiento normal del tránsito, CNT, del tránsito generado, TG, y del tránsito desarrollado, TD.

El crecimiento normal del tránsito, CNT, es el crecimiento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos.

El tránsito generado, TG, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían sino se efectúa el proyecto. Se compone de tres categorías: el tránsito inducido, o nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte; el tránsito convertido, nuevos viajes que

⁴ CAL Y MAYOR, Rafael; CARDENAS G, James: "Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones 2^a Ed. México, 1994.

previamente se hacían en medios de transporte masivo (taxi, autobús, tren, avión), y que por razón del nuevo proyecto se harán en vehículos particulares; y el tránsito trasladado, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso del suelo.

El tránsito desarrollado, TD, es el incremento de volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo que no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Sin embargo, para carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal generando un tránsito adicional que se considera como tránsito desarrollado.

En consecuencia podemos utilizar las siguientes expresiones:

$$IT = CNT + TG + TD$$

$$TF = TA + IT$$

$$TF = (TE + TA) + (CNT + TG + TD)$$

2.5. ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

- **Período de Diseño:** Se entiende como el período de tiempo durante el cual la obra vial construida presta un nivel de servicio aceptable y además, su relación costos-beneficios permite una pronta recuperación de la inversión pagada por los usuarios de la misma.

Aún cuando la durabilidad de las obras es bastante mayor al período de diseño, especialmente en las estructuras de concreto, los proyectos viales en Colombia contemplan períodos de aproximadamente 20 años para obras civiles y para pavimentos entre 10 a 15 años. Esto permite considerar un hecho cierto respecto del usufructo de la obra pública construida y es el factor generacional en cuanto a que cada período de diseño cumplido obliga a un grupo diferente de ciudadanos económicamente activos a invertir en nuevas obras viales para su mismo servicio.

- **Capacidad Vial:** Se define la capacidad de una carretera como el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto durante un determinado periodo de tiempo bajo condiciones imperantes de la carretera, tráfico y condiciones de control. La capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores de una hora.

La capacidad normalmente no puede ser excedida sin cambiar una o más de las condiciones prevalecientes o imperantes. Al expresar la capacidad, es esencial plantear cuáles son las condiciones predominantes de la vía y del tránsito.

En la planeación, proyecto y operación de calles y carreteras, la demanda del tránsito, bien sea presente o futura, es considerada como una cantidad conocida. La medida de la eficiencia con la que una vía presta servicio a esta demanda, es lo que se conoce como Capacidad.

Para determinarla se requiere no solo de un conocimiento general de las características de la corriente de tránsito, sino también de los volúmenes, bajo una variedad de condiciones físicas y de operación.

Para fines de calculo, se considera que la capacidad de una vía rural para vías de dos carriles según el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras

de Dos Carriles , bajo condiciones ideales es de 3200 vehículos ligeros por hora en ambos sentidos, sin tomar en cuenta la distribución del tránsito entre carriles.

- **Niveles de Servicio:** Nivel de servicio es una medida cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro de una corriente de tráfico, generalmente en términos de medidas de servicio tales como velocidad, tiempo de viaje, libertad de maniobra, interrupciones de tráfico, comodidad y conveniencia.

También se define el nivel de servicio de un sector de una carretera como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, la cual se refleja en el grado de satisfacción o contrariedad que éstos experimentan al usar la vía.

Un determinado carril o carretera puede proporcionar un rango muy amplio de niveles de servicio. En una vía los diferentes niveles de servicio son función del volumen, y la composición del tránsito, así como de las velocidades que pueden alcanzar en ella.

Un carril o vía proyectada para un determinado nivel de servicio, en realidad operará a muchos niveles, conforme varía el volumen durante una hora o durante diferentes horas del día, durante días de la semana, o durante períodos del año y aún durante diferentes años, con el crecimiento del tránsito.

Para medir la calidad del flujo vehicular se utiliza el concepto de NIVEL DE SERVICIO, que es la medida cualitativa que pueden tener en la capacidad vial (número máximo de vehículos por unidad de tiempo), factores tales como velocidad, tiempo de recorrido, interrupciones del tránsito, la libertad de maniobra, la seguridad, los costos de operación, etc.

Los factores pueden ser internos, tales como variaciones en velocidad, en

volumen, composición del tránsito, porcentaje de movimientos, etc. o externos como las características físicas de la vía: ancho de carriles, distancia libre lateral, pendientes, etc.

Los niveles de servicio designados con las letras de la A a la F, del mejor al peor, comprenden la clasificación total de las operaciones de tránsito que pueden ocurrir.

- **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 o existir 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.

2.5.1. Estimación del Nivel de servicio según el Manual de Capacidad de Carreteras, HCM⁵

- **Tasa de Flujo de Vehículos Equivalentes de pasajeros por Hora Carril.** La tasa de Flujo en vehículos/hora/carril se calcula por medio de la ecuación:

$$V_p = \frac{VHMD}{FHP * N_c * F_{vp} * F_p}$$

- **VHMD: Volumen Horario de máxima Demanda:** Este volumen se presenta en la hora de máxima demanda presente en la vía y se da en vehículos / hora. Este valor se obtiene de la proyección del tránsito a futuro para la hora de máxima demanda.
- **FHP: Factor de Hora Pico:** Es el volumen que se tiene a lo largo de una vía o una intersección en la hora de máxima demanda vehicular, para determinar la capacidad de la vía o de la intersección que se debe suministrar. Un Volumen Horario Pico (VHP), a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo mayores a las de la hora misma. Para la hora pico, se llama Factor de Hora Pico, FHP, y el flujo máximo, $q_{máx}$, que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

$$FHP = \frac{VHP}{N(q_{máx})}$$

⁵ HIGHWAY CAPACITY MANUAL. Estados Unidos. Version 2000.

Donde:

N, Número de períodos durante la hora de máxima demanda.

Los períodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5 a 15 minutos, utilizándose éste último con mayor frecuencia.

El Factor Hora Pico, es un indicador de las características del flujo de tránsito en períodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

N_c : Numero de Carriles

- **F_{VP}: Factor de presencia de vehículos pesados:** La presencia de vehículos pesados afecta la tasa de flujo que se pueda presentar en la vía, afectando por ende el Nivel de Servicio.

$$F_{VP} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

P_T y P_R: Porcentaje de camiones y de buses grandes presentes en la vía.

E_T y E_R: Valores que representan el tipo de terreno en sobre el que se encuentra la vía o de las pendientes promedios presentes en esta. Se obtiene de la tabla 21-8 y 21-9 del Manual de capacidad para carreteras de los Estados Unidos.

- **F_p: Factor de población:** Este factor considera la población conductora, que no afecta la tasa de flujo cuando se considera que los conductores son habituales, pero que lo afecta cuando los conductores son esporádicos o visitantes repentino que no conocen la vía. Este valor se encuentra entre 0,85 y 1,0; tomando un valor de 1,0 para conductores habituales y de 0,85 para conductores que utilizan la vía esporádicamente.
- **VL: Velocidad Libre Real o de Flujo Libre:** Es la velocidad media en el espacio de los vehículos en el flujo vehicular. Es una medida del grado, para el cual la carretera cumple con su función de suministrar una movilidad eficiente

La velocidad a flujo libre se da cuando un vehículo transita libremente sobre una vía sin la presencia de ningún otro vehículo, esta velocidad se puede medir en campo o hacer un estimativo de esta; esta velocidad se ve afectada cuando las condiciones ideales no se dan, afectando por ende el Nivel de Servicio. Se determina mediante la ecuación:

$$VL = VLB - f_{lw} - f_{lc} - f_m - f_a$$

Donde,

- **VLB: Velocidad Libre Básica o Velocidad del Proyecto:** La velocidad a flujo libre básica se da cuando todas las condiciones ideales se presentan, es decir, que no existe ningún impedimento para que el conductor se mueva libremente sin ningún tipo de impedimento y obstáculo que lo obligue a disminuir la velocidad.
- **F_{lw}: Factor de ajuste por ancho de carril:** Este factor recoge las limitantes presentes debido a lo ancho de los carriles presentes en la vía. Se obtiene de la tabla 21-4 del Manual de capacidad para carreteras de los Estados Unidos.

- **F_{lc} : Factor de ajuste por obstáculos laterales:** Este factor recoge las limitantes presentes debido a la distancia mínima que deben tener los obstáculos laterales a cada lado de la calzada para que estos no influyan en el comportamiento de los conductores. Se obtiene de la tabla 21-5 del Manual de capacidad para carreteras de los Estados Unidos.
- **F_m : Factor de ajuste por división de sentidos:** Este factor considera una disminución de la velocidad a flujo libre si no se presenta una división de los sentidos del flujo vehicular. Se obtiene de la tabla 21-6 del Manual de capacidad para carreteras de los Estados Unidos.
- **F_a : Factor de ajuste por accesos:** Este factor considera una disminución de la velocidad a flujo libre cuando se presentan accesos a la vía, o los accesos no son controlados. Se obtiene de la tabla 21-7 del Manual de capacidad para carreteras de los Estados Unidos.
- **Densidad:** Es el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado, esta densidad se da en vehículos / kilómetro / carril

2.5.2. Método para el cálculo de la Capacidad según el manual colombiano.⁶

- **Descripción de los factores de ajuste.** Con base en observaciones de campo, se considera que la capacidad de una carretera de dos carriles en Colombia, en condiciones ideales, C_i , es de 3200 automóviles por hora en ambos sentidos.

⁶ UNIVERSIDAD DEL CAUCA, Manual de Capacidad y Niveles de servicio para carreteras de dos carriles, Popayán, 1996.

Los requisitos que definen las condiciones ideales son los siguientes:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos.
- Terreno plano y rasante horizontal.
- Carriles de no menos de 3.65 metros de ancho.
- Bermas de no menos de 1.80 metros de ancho, con superficie de rodadura de calidad inferior a la de la calzada y distinta inclinación.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas.
- Alineamiento recto.
- Ausencia de vehículos pesados.
- Visibilidad adecuada para adelantar.
- Señalización horizontal y vertical óptima.

En el método propuesto, la capacidad para condiciones ideales, C_i , se multiplica por varios factores de corrección, que reflejan el grado en que no se cumplen los requisitos que definen esas condiciones. Los factores transforman esa capacidad ideal en capacidad para las condiciones estudiadas.

Las características de vía y tránsito que tienen en cuenta esos factores de corrección son las siguientes:

- **Pendientes.** Las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que pueden desarrollar en rasante horizontal. La reducción se traduce en un aumento en los intervalos entre vehículos que están en un pelotón y, por ende, en una disminución de la capacidad. Su efecto se considera en el factor de corrección F_{pe} .
- **Distribución del tránsito por sentidos.** Una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga un carril saturado, aunque el volumen de tránsito sea muy

bajo en el otro carril. Además, se debe considerar las verdaderas oportunidades de adelantamiento que ofrece el tramo en análisis, medido por el del porcentaje de zonas de no rebase. El efecto de estas dos variables se considera con el factor de corrección F_d .

- **Anchos de carril y berma utilizable.** Los carriles y bermas estrechos, y la ausencia o malas condiciones de éstas, restan confianza a los conductores, lo que se traduce en una disminución de la velocidad a que éstos van, un aumento en los intervalos entre sus vehículos, y la consiguiente reducción de la capacidad de la vía. El factor que cuantifica este efecto es el F_{cb} .

- **Presencia de vehículos pesados.** La capacidad se puede definir como el número máximo de intervalos entre vehículos que pasan por un punto de una vía en una hora. El efecto de la reducción en capacidad que causan los vehículos pesados está dado por el factor F_p .

- **Aplicación de los factores de corrección.** Para el cálculo de la capacidad los factores de corrección se aplican en forma simultánea.

Por tanto, la capacidad en vehículos mixtos por hora, C_{60} , para esas condiciones, suponiendo que no hay variaciones aleatorias del volumen durante esa hora.

$$C_{60} = \frac{\text{Capacidad en vehículos mixtos/hora sin considerar Variaciones aleatorias}}{1} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

- **Variaciones aleatorias del volumen de tránsito.** Cuando el volumen horario que circula por un sector uniforme de una vía se acerca a su capacidad, sin alcanzarla; debido a que existen siempre variaciones aleatorias en la demanda de tránsito, puede suceder que en ciertos momentos la demanda exceda la capacidad y

se produzca congestión. Las consecuencias adversas de estas congestiones momentáneas suelen prolongarse mucho más allá de los momentos donde hay déficit de capacidad y por ese motivo se trata de evitarlas hasta donde sea posible.

Para tener en cuenta esas variaciones aleatorias del volumen de demanda, en los análisis de capacidad se puede: Utilizar el volumen de demanda horario que corresponda al máximo volumen que ocurra normalmente en una fracción de la hora o reducir la capacidad para tener en cuenta ese pico dentro de la hora. En este método se ha optado por la segunda alternativa.

La fracción de hora elegida es de cinco minutos y para reducir la capacidad se procede a multiplicar la capacidad horaria por un factor menor que la unidad, que la disminuye en una magnitud igual al aumento aleatorio normal del volumen durante el período de cinco minutos de mayor demanda. Este factor es el **factor de hora pico FPH**, que se debe estimar tomando el valor correspondiente de la tabla 5. Multiplicando la capacidad C_{60} por FPH se calcula la capacidad C_5 en vehículos mixtos (livianos y pesados) por hora, para las condiciones estudiadas, compensando las variaciones aleatorias normales que ocurren durante períodos de cinco minutos.

$$C_5 = \boxed{\begin{array}{l} \text{Capacidad en vehículos} \\ \text{mixtos/hora considerando} \\ \text{variaciones aleatorias} \end{array}} = C_{60} * FPH$$

2.6. EJERCICIOS PRÁCTICOS APLICADOS A LA INGENIERÍA DE TRANSITO

1. En una autopista se registró la siguiente Serie Histórica de Tránsito en veinte (20) años. Además se estimó que el Transito Atraído y el Transito Generado tenían un incremento del 3% y 6% anual respectivamente.

Tabla 6. Serie Histórica de Tránsito.

Estación No. 146				
AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
1986	6495	3637	909	1949
1987	7964	4938	876	2150
1988	8725	5759	960	2007
1989	10088	6759	1009	2320
1990	9659	6568	1062	2028
1991	10468	7328	1256	1884
1992	12848	8737	1542	2570
1993	15786	10734	2210	2841
1994	15334	11040	1533	2760
1995	21275	16382	1915	2979
1996	23516	16932	3057	3527
1997	22981	18385	2068	2528
1998	24369	19252	2924	2193
1999	27303	21296	3003	3003
2000	25654	20010	3335	2309
2001	27721	21345	3881	2495
2002	28035	21587	3925	2523
2003	28672	21791	1434	5448

Fuente: Autor del Proyecto

Utilizando la proyección Lineal, Exponencial, Logarítmica y Potencial:

- a. Determine el Tránsito Normal Proyectado a quince (15) años a partir del año 2006.
- b. Determine el Tránsito Atraído a quince (15) años a partir del año 2006.

- c. Determine el Transito Generado a quince (15) años a partir del año 2006.
- d. Determine el Transito Futuro a quince (15) años a partir del año 2006.

- **Solución.**

- a. Determine el Transito Normal Proyectado a quince (15) años a partir del año 2006.

Para el cálculo del Transito Normal Proyectado se efectúa con análisis de regresión lineal, exponencial, logarítmica y potencial para cada tipo de vehiculo y para el TPD (Trafico Promedio Diario) de la serie histórica.

De este análisis para el TPD total y por tipo de vehiculo, se tomará la regresión que mejor correlación presente, la cual permitirá proyectar el tránsito normal que tendrá la vía en su periodo de diseño.

Las ecuaciones y valores de correlación obtenidas para cada tipo de regresión se presentan a continuación:

Tabla 7. Ecuaciones y Correlaciones TPD total y por tipo de vehiculo

REGRESION	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
Lineal	1478X+4120	1233X+1756	201X+278	41.x + 2102
	0.956	0.951	0.900	0.222
Exponencial	$6784.2e^{0.092x}$	$4172.4e^{0.1077x}$	$728e^{0.1025x}$	$2085e^{0.0174x}$
	0.939	0.932	0.934	0.256
Logarítmica	9114 Ln(x) - 267.7	7613Ln(x) - 1923	1115.6Ln(x) - 112.57	304Ln(x) + 1874
	0.820	0.818	0.689	0.298
Potencial	$4824x^{0.6007}$	$2740x^{0.714}$	$559.85x^{0.601}$	$1900x^{0.1267}$
	0.904	0.924	0.797	0.335

Fuente: Autor del Proyecto

No se incluyó el año 2003 en las correlaciones para buses y camiones debido a que presenta una variación significativamente diferente en la progresión histórica.

La mejor correlación de los buses es la exponencial, pero la ecuación obtenida presenta una progresión de los datos muy elevada, por lo que se hará la proyección de este tipo de vehiculo con la ecuación obtenida de la regresión lineal.

Las correlaciones obtenidas con los datos de los camiones son muy bajas, aun a eliminando datos de esta serie para obtener una buena aproximación de valores en esta proyección, por lo que su valor se obtendrá restando al TPD total proyectado los valores obtenidos de las otras proyecciones (Autos y Buses).

Las ecuaciones obtenidas fueron las siguientes:

Donde,

y = TPD x= Numero de años a partir del 1^{er} año de la serie historica

TPD total: $y = 1478X + 4120$

TPD autos: $y = 1233X + 1756$

TPD buses: $y = 201x + 278$

TPD camiones = $TPD\ total - TPD\ autos - TPD\ buses$

Reemplazando los años del 2006 al 2021 se obtiene el Transito Normal
Proyectado:

Tabla 8. Transito Normal Proyectado

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2006	35158	27649	4498	3011
2007	36636	28882	4699	3055
2008	38114	30115	4900	3099
2009	39592	31348	5101	3143
2010	41070	32581	5302	3187
2011	42548	33814	5503	3231
2012	44026	35047	5704	3275
2013	45504	36280	5905	3319
2014	46982	37513	6106	3363
2015	48460	38746	6307	3407
2016	49938	39979	6508	3451
2017	51416	41212	6709	3495
2018	52894	42445	6910	3539
2019	54372	43678	7111	3583
2020	55850	44911	7312	3627
2021	57328	46144	7513	3671

Fuente: Autor del Proyecto

La composición promedio del tránsito vehicular de la serie histórica corresponde a la siguiente proporción: Autos 72%, Buses 12% y Camiones 16%.

b. Determine el Tránsito Atraído a quince (15) años a partir del año 2006.

El tránsito atraído tienen un incremento anual del 3%.

Para calcular el tránsito atraído de año 2006, se multiplica el TPD de cada tipo de vehículo por 0.03 que corresponde al incremento del 3%.

Tránsito Atraído Autos: $27649 \times 0.03 = 829$

Tránsito Atraído Buses: $4498 \times 0.03 = 135$

Tránsito Atraído Camiones : $3011 \times 0.03 = 90$

Asimismo se calcula el Tránsito Atraído para cada año, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Tránsito Atraído

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2006	1055	829	135	90
2007	1099	866	141	92
2008	1143	903	147	93
2009	1188	940	153	94
2010	1232	977	159	96
2011	1276	1014	165	97
2012	1321	1051	171	98
2013	1365	1088	177	100
2014	1409	1125	183	101

2015	1454	1162	189	102
2016	1498	1199	195	104
2017	1542	1236	201	105
2018	1587	1273	207	106
2019	1631	1310	213	107
2020	1676	1347	219	109
2021	1720	1384	225	110

Fuente: Autor del Proyecto

c. Determine el Transito Generado a quince (15) años a partir del año 2006.

El transito Generado tienen un incremento anual del 6%.

Para calcular el transito Generado de año 2006, se multiplica el TPD de cada tipo de vehiculo por 0.06 que corresponde al incremento del 6%.

Transito Generado Autos: $27649 \times 0.06 = 1659$

Transito Generado Buses: $4498 \times 0.06 = 270$

Transito Generado Camiones : $3011 \times 0.06 = 181$

De esta manera se calcula el Transito Generado para cada año, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Transito Generado

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2006	2109	1659	270	181
2007	2198	1733	282	183
2008	2287	1807	294	186
2009	2376	1881	306	189
2010	2464	1955	318	191
2011	2553	2029	330	194
2012	2642	2103	342	197
2013	2730	2177	354	199
2014	2819	2251	366	202
2015	2908	2325	378	204
2016	2996	2399	390	207
2017	3085	2473	403	210
2018	3174	2547	415	212
2019	3262	2621	427	215
2020	3351	2695	439	218
2021	3440	2769	451	220

Fuente: Autor del Proyecto

- d. Determine el Transito Futuro a quince (15) años a partir del año 2006.

El Tránsito Futuro se obtiene con la adición del tránsito normal, el tránsito atraído y el transito generado, para un período de 15 años a partir del año en el cual la vía funcionará a plenitud, o sea el año 2006

$$TF = TN + TA + TG$$

TF: Transito Futuro

TN: Transito Normal Proyectado

TA: Transito Atraído

TG: Transito Generado

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Transito Futuro

AÑO	TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES
2006	38322	30137	4903	3282
2007	39933	31481	5122	3330
2008	41544	32825	5341	3378
2009	43155	34169	5560	3426
2010	44766	35513	5779	3474
2011	46377	36857	5998	3522
2012	47988	38201	6217	3570
2013	49599	39545	6436	3618
2014	51210	40889	6656	3666
2015	52821	42233	6875	3714
2016	54432	43577	7094	3762
2017	56043	44921	7313	3810
2018	57654	46265	7532	3858
2019	59265	47609	7751	3905
2020	60877	48953	7970	3953
2021	62488	50297	8189	4001

Fuente: Autor del Proyecto

La composición vehicular proyectada promedio es la siguiente: Autos 80%, Buses 13% y Camiones 7%.

2. Determine la carga en numero de Ejes Equivalentes que debe soportar el pavimento del Ejercicio 1, teniendo en cuenta que se presenta una distribución del 50 % en cada dirección y del 90% por carril ya que es una vía de doble calzada. La distribución de camiones y Factores de Equivalencia son los siguientes:

C2-P	31.7%	$FE_{C2-P} = 0.8$
C2-G	46.8%	$FE_{C2-G} = 2.5$
C3	6.8%	$FE_{C3} = 3.7$
C5	6.3%	$FE_{C5} = 4.5$
C6	8.4%	$FE_{C6} = 7.0$

Solución. Para determinar el Número de Ejes Equivalentes por año se utiliza el tránsito Futuro ya que este tránsito es el que operará durante el periodo de diseño de 15 años. La conversión del tránsito equivalente a ejes simple de 8.2 toneladas para cada año de proyección se realiza de la siguiente forma:

$$N_{año} = TPD \times \frac{[\%B \times FE_{buses} + \%C(\%C2 - P \times FE_{C2-P} + \dots + \%C6 \times FE_{C6})/100]}{100}$$

$N_{año}$: Número acumulado de ejes de 8.2 toneladas que circularon en el año i .

Año $_i$: Es uno de los años de la serie proyectada.

TPD: Tránsito promedio diario medido en el año i .

%B: Porcentaje estimado de buses.

%C: Porcentaje estimado de camiones.

FE: Factor de equivalencia para cada tipo de vehículo comercial para el cálculo del factor camión. Así por ejemplo para el año 2006:

$$TPD_{2006} = 38322$$

$$\text{Buses: \%B} = 13 \%$$

$$\text{Camiones: \%C} = 7\%$$

$$N_{2006} = 38322 \times \frac{[13\% \times 0.8 + 7\% (31.7\% \times 0.5 + 46.8\% \times 2.5 + 6.8\% \times 3.7 + 6.3\% \times 4.5 + 8.4\% \times 7)]/100}{100}$$

$$N_{2006} = 10562.00$$

Tabla 12. Ejes Equivalentes por año

AÑO	TPD	N _i
2006	38322	10562,00
2007	39933	11006,01
2008	41544	11450,02
2009	43155	11894,04
2010	44766	12338,05
2011	46377	12782,06
2012	47988	13226,07
2013	49599	13670,08
2014	51210	14114,09
2015	52821	14558,10
2016	54432	15002,11
2017	56043	15446,12
2018	57654	15890,13
2019	59265	16334,15
2020	60877	16778,43
2021	62488	17222,44
N TOTAL		222273,91

Fuente: Autor del Proyecto

El cálculo del tránsito equivalente proyectado en el período de diseño para cada una de las condiciones anteriores, es igual a la sumatoria del tránsito equivalente de cada uno de los años de la proyección, multiplicado por los días de afectación (365) respectivos y por los correspondientes factores de distribución direccional (0.5) y por carril (0.9). Como se muestra a continuación:

$$N = 222273.91 \times 385 \times 0.5 \times 0.9$$

$$N = 36508490.06$$

$$N = 36.508490 \times 10^6 \text{ Ejes de } 8.2 \text{ Toneladas en } 15 \text{ años de vida útil}$$

3. En la carretera Paipa – Duitama se realizaron dos tipos de conteos uno manual y otro automático, por esta razón se tienen dos series históricas con un nivel de confianza del 95%. Para realizar la proyección de tránsito es necesario conocer si la diferencia de TPD es significativa y cuál de estas series es la más adecuada para su utilización.

Tabla 13. Datos series históricas

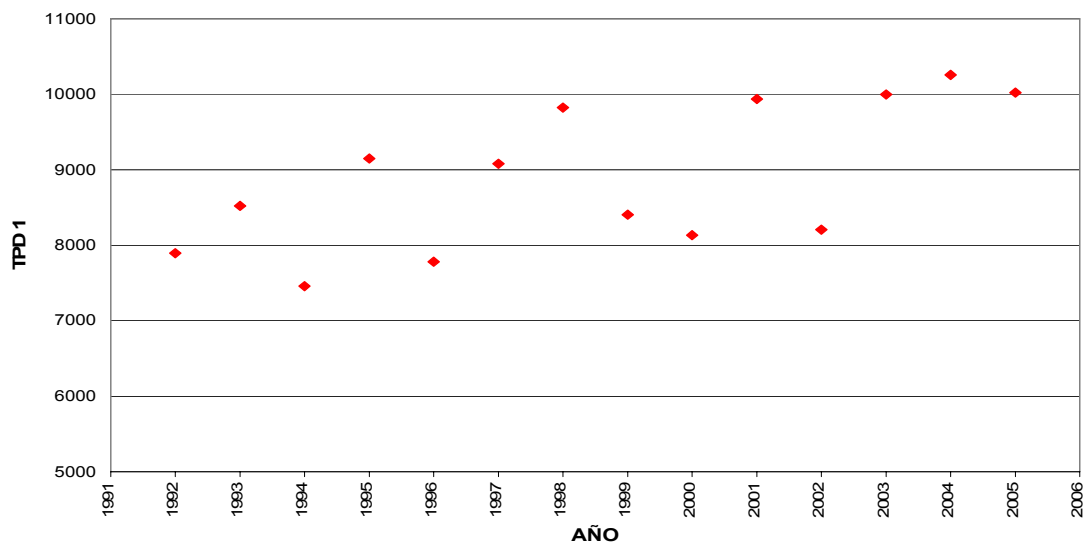
AÑO	TPD 1	TPD 2
1992	7893	8513
1993	8520	8222
1994	7458	7786
1995	9150	9856
1996	7783	7589
1997	9078	8569
1998	9822	9800
1999	8403	8456
2000	8132	8596
2001	9937	9995
2002	8207	8869
2003	9996	10203
2004	10256	10563
2005	10023	10789

Fuente: Autor del Proyecto

Solución. Para determinar cual es la serie mas adecuada debe calcularse la desviacion estandar de cada una de ellas.

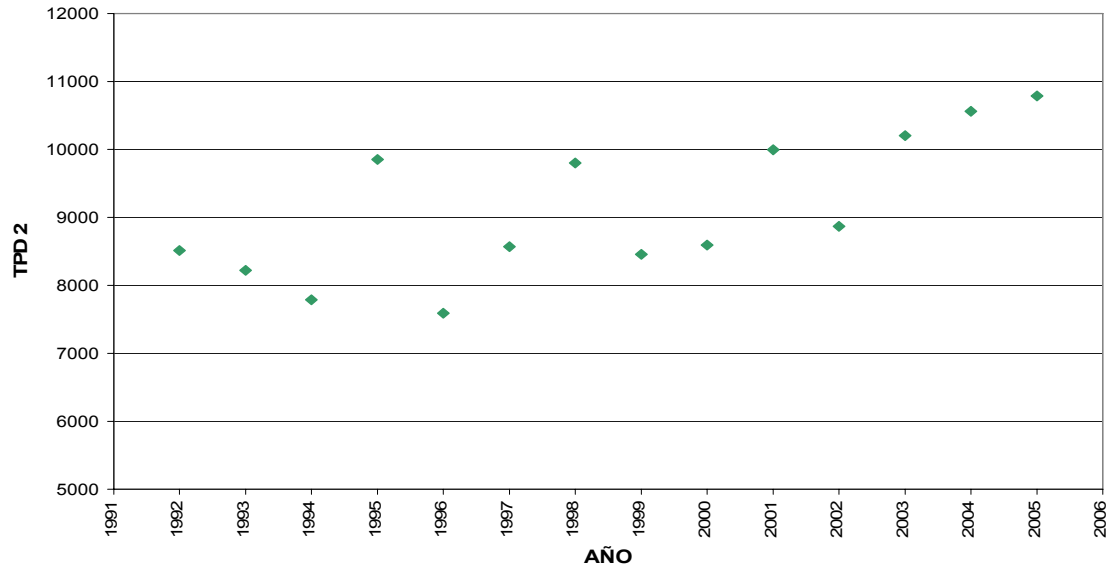
En las siguientes graficas puede verse el comportamieno de cada serie.

Figura 4. Correlacion de Trafico Promedio Diario segun conteo manual en el Tiempo



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 5. Correlacion de Trafico Promedio Diario segun conteo automatico en el Tiempo



Fuente: Autor del Proyecto

Para estimar si la diferencia es significativa se calcula la media y varianza de cada serie:

Tabla 14. Datos Estadísticos

	Conteo Manual	Conteo Automático
n	14	14
X	8904.14	9129
S	965.68	1044.76
S²	932543.21	1091517.69

Fuente: Autor del Proyecto

Para determinar si existe alguna diferencia significativa entre los TPD de los dos tipos de conteos realizados, se compara la diferencia absoluta entre las medias de las muestras, contra el producto de la desviación estándar de la diferencia de medias por el factor Z de la distribución Normal, según el Nivel de confianza establecido.

Para ello debe estimarse la desviación estándar de la diferencia de medias, para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{n}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(965.68)^2}{14} + \frac{(1044.76)^2}{14}} = 380.23$$

Según la distribución Normal para un nivel de confianza del 95% es decir $(1-\alpha) = 1 - 0.95 = 0.05$, el valor de Z es 1.96.

Entonces,

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 = S_d \times Z$$

$$|8904.14 - 9129| = 380.23 \times 1.96$$

$$224.86 < 745.25$$

Puede concluirse que la diferencia de medias es significativa para un nivel de confianza del 95 por ciento y que la serie más adecuada para estimar el tránsito futuro es la del TPD1, ya que es la que presenta menos desviación estándar.

4. En la carretera Lebrija – La Renta se realizaron conteos de tránsito y se determinó que el mayor día de confluencia de vehículos era el jueves. Determine el Factor de Hora Pico (FHP), a partir de los datos dados en la tabla de conteos de vehículos.

Tabla 15. Conteo de Vehículos

FECHA:	05/05/2006	DIA: Jueves	HORA INI: 4:30 am	HORA FIN.:6:30 AM	
TIEMPO:	SOLEADO	NUBLADO : X	LLUVIOSO:	SENTIDO DEL FLUJO :	Lebrija - La Renta
TIEMPO minutos	MOTOCICLETAS	AUTOMOVILES Autos, Camionetas, Camperos, Microbuses y taxis	BUSES	CAMIONES MEDIANOS (2 ejes, más de 4 llantas)	CAMIONES PESADOS (3 o más ejes articulados o tractomulas)
4:30 a 4:45	5	5	0	9	2
4:45 a 5:00	2	12	0	7	6
5:00 a 5:15	10	6	1	13	1
5:15 a 5:30	4	10	2	7	5
5:30 a	12	11	3	9	2

5:45					
5:45 a 6:00	8	7	2	5	0
6:00 a 6:15	11	11	2	5	1
6:15 a 6:30	12	31	3	6	3

Fuente: Autor del Proyecto

Solución. El Factor de Hora Pico (FHP) se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$FHP = \frac{VHMD}{N(q_{\text{máx}})}$$

Donde:

VHMD = Volumen Horario de Máxima Demanda

N = Número de períodos durante la hora de máxima demanda.

$q_{\text{máx}}$ = Flujo durante un periodo de la Hora Pico

Para calcular el Volumen Horario de Máxima Demanda es necesario determinar el total de vehiculos en cada periodo. Para ello se suman aritmeticamente la cantidad de motocicletas, automoviles, buses, camiones medianos y pequeños, teniendo en cuenta que se deben convertir las motocicletas a automoviles multiplicando su cantidad por un factor de 0.25.

Tabla 16. Conversion Motocicletas

TIEMPO minutos	MOTOCICLETAS	MOTOCICLETAS CONVERTIDAS A AUTOMOVILES POR UN FACTOR DE 0.25
4:30 a 4:45	5	1
4:45 a 5:00	2	1
5:00 a 5:15	10	3
5:15 a 5:30	4	1
5:30 a 5:45	12	3
5:45 a 6:00	8	2
6:00 a 6:15	11	3
6:15 a 6:30	12	3

Fuente: Autor del Proyecto

Se totaliza sumando cada tipo de vehiculo para cada periodo de 15 minutos.

Tabla 17. Totalización Conteo de Vehículos

FECHA:	05/05/2006	DIA: Jueves	HORA INI:4:30 AM	HORA FIN.:6:30 AM		
TIEMPO:	SOLEADO	NUBLADO : X	LLUVIOSO:	SENTIDO DEL FLUJO :	Lebrija - La Renta	
TIEMPO minutos	MOTOCICLETAS convertidas a automóviles por un factor de 0.25	AUTOMOVILES Autos, Camionetas, Camperos, Microbuses y taxis	BUSES	CAMIONES MEDIANOS (2 ejes, más de 4 llantas)	CAMIONES PESADOS (3 o más ejes articulados o tractomulas)	TOTAL VEHICULOS POR PERIODO
4:30 a 4:45	1	5	0	9	2	17
4:45 a 5:00	1	12	0	7	6	26

5:00 a 5:15	3	6	1	13	1	24
5:15 a 5:30	1	10	2	7	5	25
5:30 a 5:45	3	11	3	9	2	28
5:45 a 6:00	2	7	2	5	0	16
6:00 a 6:15	3	11	2	5	1	22
6:15 a 6:30	3	31	3	6	3	46

Fuente: Autor del Proyecto

La hora de maxima demanda se calcula sumando el total de vehiculos en cada hora, la hora en que haya mas cantidad de vehiculos se conoce como la hora de maxima demanda.

De 4:30 a 5:30 am : $17+26+24+25=91$ vehiculos por hora

De 5:30 a 6:30 am : $28+16+22+46= 112$ vehiculos por hora

Tabla 18. Vehículos por periodo y por hora.

TIEMPO minutos	TOTAL VEHICULOS POR PERIODO	TOTAL VEHICULOS POR HORA
4:30 a 4:45	17	91
4:45 a 5:00	26	
5:00 a 5:15	24	
5:15 a 5:30	25	
5:30 a 5:45	28	112
5:45 a 6:00	16	
6:00 a 6:15	22	
6:15 a 6:30	46	

Fuente: Autor del Proyecto

Por tanto la Hora de maxima demanda es de 5:30 a 6:30 am y el Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD) es 112 vehiculos/hora. La hora de maxima demanda esta compuesta de 4 periodos de 15 minutos.

El flujo maximo de vehiculos en la Hora de maxima demanda ($q_{\text{máx}}$) se dá de 6:15 a 6:30 am y es de 46 vehiculos/Hora.

Reemplazando en la ecuacion se obtiene:

$$FHP = \frac{112 \text{ Veh/Hora}}{4 \times 46 \text{ Veh/Hora}} = 0.61$$

Debido a que el FHP es pequeño indica concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

5. Determine el Nivel de Servicio de un tramo de 0.3 Km de carretera de 2 carriles por sentido con separador central, que tiene una pendiente de 1.5 %. Se estima que hay 6 accesos por cada kilometro. La carretera está en un terreno llano y el ancho de los carriles es de 3.5 m. La velocidad libre basica es de 60 KPH, el VHMD es de 1712 vehiculos por hora, el flujo maximo se da en un periodo de 15 minutos y es de 510 vehiculos por hora. La composicion del trafico es 88% automóviles, 4% buses y 8% camiones. Utilice el Metodo de HCM.

Tabla 19. Características de la via

CARACTERISTICAS DE LA VIA	
Sentido del Trafico	Desc.
Longitud del Tramo	0.3 Km.
Pendiente (%)	1.5
Numero de Carriles (Nc)	2
Ancho de Carril (m)	3.5
Distancia a Obstáculos Laterales	1
Puntos de accesos por Km	6
Velocidad de proyecto (KPH)	60

Fuente: Autor del Proyecto

Tabla 20. Composición de tráfico

COMPOSICION DEL TRAFICO	
A%	88
B%	4
C%	8

Fuente: Autor del Proyecto

Se determina el Flujo de Vehiculos Equivalentes de pasajeros por Hora Carril por medio de la siguiente ecuacion:

$$V_p = \frac{VHMD}{FHP * N * F_{VP} * F_p}$$

Donde ,

VHDM = 1712 Veh/Hora

$N_c = 2.0$

$F_p = 1.0$, Debido a que se considera el grado de familiaridad del usuario con la carretera.

Es necesario calcular el FHP, para ello se utiliza la siguiente ecuacion:

$$FHP = \frac{VHMD}{N(q_{m\acute{a}x})} = \frac{1712 \text{ Veh/Hora}}{4 \times 510 \text{ Veh/Hora}} = 0.84$$

El número de periodos es 4 debido a que son periodos de 15 minutos en la Hora de Máxima Demanda.

Ahora se calculará el Factor de Corrección por Vehículos Pesados,

$$F_{VP} = \frac{1}{1 + (P_T(E_T - 1)) + (P_R(E_R - 1))}$$

Debido a que no existen vehículos de recreo se elimina el tercer sumando divisor

$$F_{VP} = \frac{1}{1 + (P_T(E_T - 1))} = \frac{1}{1 + (\% (B + C)(E_T - 1))}$$

Donde E_T depende del Tipo de vehículo y tipo de terreno según la Tabla 21:

Tabla 21. Equivalente de pasajeros por vehículo en segmentos de vía

Factor	Tipo de terreno		
	Llano	Ondulado	Montañoso
ET(camiones y buses)	1.5	2.5	4.5
ER(vehículos de recreo)	1.2	2.0	4.0

Fuente: Tabla 21-8..HCM, Manual de Capacidad 2000

E_T para un terreno llano es de 1.5. Por tanto;

$$F_{VP} = \frac{1}{1 + (0.04 + 0.08)(1.5 - 1)} = 0.94$$

Entonces;

VHMD	1712
FHP	0.84
N	2
F_{VP}	0.94
F_P	1

Ya teniendo todas las variables, se calcula el Flujo de Vehículos Equivalentes de pasajeros por Hora Carril:

$$V_P = \frac{1712 \text{ Veh/Hora}}{0.84 \times 2 \times 0.94 \times 1} = 1084 \text{ pas.Veh/Hora}$$

Ahora se debe calcular la Velocidad Libre Real según el HCM 2000:

$$VL = VLB - f_{lw} - f_{lc} - f_m - f_a$$

Donde,

VLB: Velocidad Libre Básica o Velocidad del Proyecto

f_{lw} : Factor de corrección por anchura del carril (Tabla 22)

f_{lc} : Factor de corrección por obstáculos laterales (Tabla 23)

f_m : Factor de corrección por separación entre enlaces (Tabla 24)

f_a : Factor de corrección por número de accesos (Tabla 25)

Para un ancho de carril de 3.5 m el factor de corrección por anchura del carril (f_{LW}) es de 1 Km/h:

Tabla 22. Corrección por Anchura de carril

Ancho del carril(m)	f_{LW} (Km/h)
3.6	0.0
3.5	1.0
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3.0	10.6
Fuente: Tabla 21-4. HCM, Manual de Capacidad 2000	

La vía tiene dos carriles por sentido es decir en total tiene cuatro carriles y la distancia entre obstaculos laterales es de 1 m. Utilizando la Tabla 23 e interpolando entre 0.6 m y 1.2 m , se obtiene que el factor de correccion por obstaculos laterales (f_{LC}) es de 3.9 Km/h., se aproxima a 4 Km/h

Tabla 23. Corrección por Obstáculos Laterales

Vías de Cuatro Carriles		Vías de Seis carriles	
Distancia total a Obstáculos (m)	f_{lc} (Km/h)	Distancia total a Obstáculos (m)	f_{lc} (Km/h)
3.6	0.0	3.6	0.0
3.0	0.6	3.0	0.6
2.4	1.5	2.4	1.5
1.8	2.1	1.8	2.1
1.2	3.0	1.2	2.7
0.6	5.8	0.6	4.5
0.0	8.7	0.0	6.3
Fuente: Tabla 21-5..HCM, Manual de Capacidad 2000			

Debido a que la vía tiene un separador entre calzadas el factor de correccion por enlaces (f_m) es 0.

Tabla 24. Corrección por Separación entre enlaces

Separador	f_m(Km/h)
Sin separador	2.6
Con separador	0

Fuente: Tabla 21-6. HCM, Manual de Capacidad 2000

Por cada kilometro se estima que hay 6 puntos de acceso, por tanto el factor de correccion por numero de accesos (f_a) es de 4 Km/h;

Tabla 25. Corrección por número de accesos

Puntos de acceso por Kilómetro	f_a (Km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
24	16.0

Fuente: Tabla 21-7.HCM, Manual de Capacidad 2000

Luego de calcular los factores de correccion se determina la Velocidad Libre Real:

Tabla 26. Factores de Corrección para la velocidad

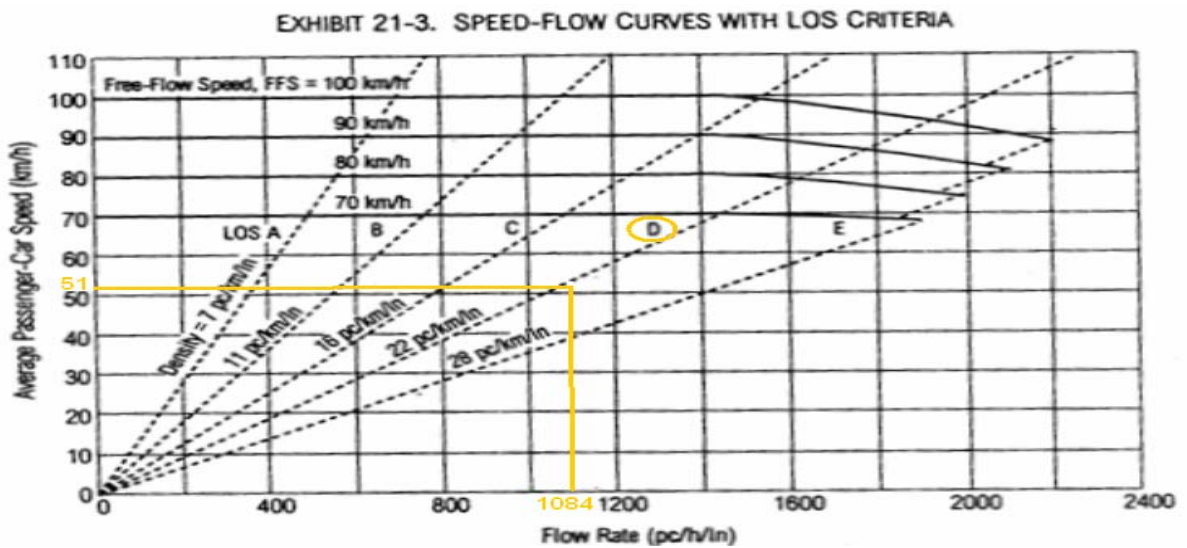
Factor	Valor(Km/h)
f_{LW}	1.0
f_{IC}	4
f_m	0.0
f_a	4

Fuente: Autor del Proyecto

$$VL = 60 - 1 - 4 - 0 - 4 = 51 \text{ Km/h}$$

Ahora mediante la Figura 6, con la Velocidad Libre Real (51 Km/h) y Flujo de Vehículos Equivalentes de pasajeros por Hora Carril (1084 Pas.veh/h/carril) se determina el nivel de servicio existente en la vía.

Figura 6. Curvas para determinar el Nivel de Servicio



Fuente: Grafico 21-3. HCM, Manual de Capacidad 2000

El Nivel de Servicio existente de la vía es D, y su densidad vehicular es de:

$$\text{Densidad} = \frac{1084 \text{ pas.veh/h/carril}}{51 \text{ Km/h}} = 22 \text{ pas.veh/Km/carril}$$

6. Determinar la capacidad en vehículos mixtos por hora de la vía Duitama- La Y, aplicando el método Colombiano, según el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. Los datos de la vía son los siguientes:

Tabla 27. Datos Vía Duitama la Y

DATOS	
Sector	5
Longitud (km)	4
Ancho carril (m)	4,5
Ancho berma (m)	1,4
Pendiente (%)	1
Distribución (% ascenso)	54
Zonas no rebase(%)	50
FHP	0,94
Velocidad de diseño (km/h)	80
Terreno	PLANO
%C	18

Fuente: Autor del Proyecto

Se determina la capacidad en Vehículos mixtos por hora por medio de la siguiente expresión:

$$C_{60} = C_i \times f_{pe} \times f_d \times f_{cb} \times f_p$$

C_i : Condiciones Ideales de la capacidad de una carretera de dos carriles en Colombia, y es de 3200 automóviles por hora en ambos sentidos.

f_{pe} : Factor de Corrección de la capacidad por Pendiente.

Para el valor de pendiente y longitud, de la tabla 28 se obtiene:

Pendiente	1%
Longitud	4
f_{pe}	0,98

Tabla 28. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (F_{pe})

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	1.00
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	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	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	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	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	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	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	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	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

Fuente: Tabla1.Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles.1996.

f_d : Factor de Corrección de la capacidad por distribución por sentidos y zonas de no rebase.

Tabla 29. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (F_d)

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

Fuente: Tabla 2.Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles.1996.

Interpolando se obtiene:

Proporción zonas de no rebase	50
Proporción de ascenso	54
f_d	0,946

f_{cb} : Factor de Corrección de la capacidad por ancho de carril y berma.

Tabla 30. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb})

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

Fuente: Tabla 3. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. 1996.

Debido a que el ancho de carril es mayor de 3.65 m se estima un f_{cb} de 1.

Ancho carril	4,5
Ancho berma	1,4
f_{cb}	1

f_p :Factor de Corrección de la capacidad por presencia de vehículos pesados

Con el porcentaje de vehículos pesados, la longitud y la pendiente se obtiene:

%Veh. Pesados	10
Longitud	4
Pendiente	1
f_p	0,91

Tabla 31. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (F_p)

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	60
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
	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
1	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

Fuente: Tabla4.Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles.1996.

$$C_{60} = 3200 \times 0.98 \times 0.946 \times 1 \times 0.91 = 2699.66 \text{ veh/hora}$$

La capacidad en vehículos mixtos por hora es de 2700.

7. Para la construcción de una carretera nueva, se desea hacer una proyección de Transito para determinar el volumen de ejes estándar en la vida útil que se estima es de 20 años. El TPDA es 10236 y se presenta una distribución del 50% en cada

dirección. La proyección anual de tránsito es de aproximadamente el 4%. Utilice la ecuación sintetizada⁷ para estimarlo.

Solución. Primero se debe calcular el tráfico Promedio Anual Equivalente Total, $TPDA_{te}$ es decir el que transita en la dirección de análisis.

$$TPDA_{te}=10236 \times 0.5=5118$$

Luego se determina el factor de proyección del tránsito futuro:

$$C = \frac{((1+r)^n - 1)365}{r}$$

Donde; $r=4\%$ y $n=20$ años

$$C = \frac{((1+0.04)^{20} - 1)365}{0.04} = 10868.99$$

Ahora se determina el volumen de ejes estándar en 20 años de vida útil:

$$Te= 5118 \times 10868.99 = 55627535.2 \quad \text{Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas}$$

8. Realice el estudio de la velocidad de punto del sector Mirolindo –Picalaña con base en los siguientes datos de campo.

⁷ OLIVERA, Fernando. *Estructuración de Vías terrestres. Segunda Edición, México, 1996.*

Tabla 32. Datos de Campo Velocidad

Vía Mirolindo - Picalaña. Ambos sentidos, vía pavimentada			
VEHÍCULOS EN ASCENSO		VEHÍCULOS EN DESCENSO	
TIEMPO (seg.)	VELOCIDAD KM/HR	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD KM/HR
2,66	67,67	3,74	48,13
4,77	37,74	4,35	41,38
1,91	69,56	3,1	58,06
4,02	44,78	2,31	68,23
2,48	68,90	3,01	59,80
5,46	32,97	2,71	69,10
2	84,35	2,56	78,23
2,42	69,50	2,14	94,24
2,6	69,80	2,54	66,42
3,65	49,32	3,14	57,32
5	36,00	2,5	77,92

Fuente: Autor del Proyecto

Solución. Cuando se realiza un estudio de Velocidad de punto, lo que se busca es estimar la Velocidad mínima, media, de operación y de diseño para un proyecto. Esto se lleva a cabo mediante un análisis estadístico de distribución de frecuencias a través del cual se determinan los percentiles que representan cada tipo de velocidad.

Así por ejemplo; el percentil 15 representa la velocidad mínima, el percentil 50 representa la velocidad media, el percentil 85 representa la velocidad de operación y el percentil 98 la velocidad de diseño.

Para estimar estos datos estadísticos se define un rango, se calcula una marca de clase que es el promedio del rango, se determina la frecuencia de datos para cada rango, se acumula y se obtienen los porcentajes. El rango definido será de 10 y la tabla se muestra a continuación

Tabla 33. Análisis Estadístico

Rango		Marca de Clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
30	39,9	34,95	3	3	13,64%	13,64%
40	49,9	44,95	4	7	18,18%	31,82%
50	59,9	54,95	3	10	13,64%	45,45%
60	69,9	64,95	8	18	36,36%	81,82%
70	79,9	74,95	2	20	9,09%	90,91%
80	89,9	84,95	1	21	4,55%	95,45%
90	99,9	94,95	1	22	4,55%	100,00%
			22		100,00%	

Fuente: Autor del Proyecto

Se muestra a continuación un cálculo tipo:

El primer rango se encuentra definido entre 30 y 39.9.

La marca de clase o promedio es $\frac{(30 + 39.9)}{2} = 34.95$.

La frecuencia absoluta se estima con el número de datos que se encuentran dentro de ese rango. Entre el rango de 30-39.9 los datos que encuentran son: 32.97, 36 y 37.74; es decir que la frecuencia absoluta de datos para este rango es 3.

La frecuencia absoluta acumulada se calcula como su nombre lo indica acumulando las frecuencias absolutas.

La frecuencia relativa se estima con la relación de la frecuencia absoluta sobre el total de ellas en porcentaje. Para este rango se estima $\frac{3}{22} \times 100 = 13.64\%$

La frecuencia acumulada se calcula acumulando los porcentajes. Con estos porcentajes se estiman cada percentil.

- *Percentil P15, Velocidad Mínima.*

Se interpola entre 13.64% y 31.82% para estimar la velocidad mínima que corresponde al 15%.

Tabla 34. Interpolación Percentil P15

Velocidad (Km./h)		
Rango Inferior	Mínima	Rango Superior
34,95	VP15	44,95
Diferencia	X	10
Frecuencia Relativa Acumulada		
13,64	15	31,82
Diferencia	1,36	16,82
X =	0,8	
Velocidad Mínima	35,76	a.m./h

Fuente: Autor del Proyecto

- *Percentil P50, Velocidad Media.*

Se interpola entre 45.95% y 81.82% para estimar la velocidad media que corresponde al 50%.

Tabla 35. Interpolación Percentil P50

Velocidad (Km./h)		
Rango Inferior	Media	Rango Superior
44,95	VP50	54,95
Diferencia	X	10
Frecuencia Relativa Acumulada		
45,45	50	81,82
Diferencia	4,55	31,82
X =	1,4	
Velocidad Media	46,38	a.m./h

Fuente: Autor del Proyecto

- *Percentil P85, Velocidad de operación.*

Se interpola entre 81.825% y 90.91% para estimar la velocidad de operación que corresponde al 85%.

Tabla 36. Interpolación Percentil P85

Velocidad (Km./h)		
Rango Inferior	Operación	Rango Superior
64,95	VP85	74,95
Diferencia	X	10
Frecuencia Relativa Acumulada		
81,82	85	90,91
Diferencia	3,18	5,91
X =	5,4	
Velocidad Operación	70,33	a.m./h

Fuente: Autor del Proyecto

- *Percentil P98, Velocidad de Diseño.*

Se interpola entre 95.45% y 100% para estimar la velocidad de diseño que corresponde al 98%.

Tabla 37. Interpolación Percentil P98

Velocidad (Km./h)		
Rango Inferior	Diseño	Rango Superior
84,95	VP98	94,95
Diferencia	X	10
Frecuencia Relativa Acumulada		
95,45	98	100,00
Diferencia	2,55	2,00
X =	12,7	
Velocidad de Diseño	97,68	a.m./h

Fuente: Autor del Proyecto

De esta manera se determinan las velocidades por medio de un análisis Estadístico de distribución de frecuencias.

Tabla 38. Resumen Resultados Análisis Estadístico Velocidad de Punto

Velocidad Mínima P15 (Km./h)	Velocidad Media P50 (Km./h)	Velocidad de Operación P85 (Km./h)	Velocidad de Diseño (P98)	Tamaño Muestra
36	46	70	98	22

Fuente: Autor del Proyecto

9. Analice el comportamiento de la accidentalidad durante los últimos tres años en los sitios críticos de una carretera, partiendo de la información básica dada a continuación.

Tabla 39. Accidentalidad Año 2004

	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTOS
PR13 - PR14	30	10	0
PR14 - PR15	14	0	0
PR15 - PR16	18	0	0
PR16 - PR17	10	0	0
PR17 - PR18	10	8	0

Fuente: Autor del Proyecto

Tabla 40. Accidentalidad Año 2005

	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTOS
PR13 - PR14	54	38	1
PR14 - PR15	25	8	0
PR15 - PR16	27	15	1
PR16 - PR17	18	17	0
PR17 - PR18	9	3	0

Fuente: Autor del Proyecto

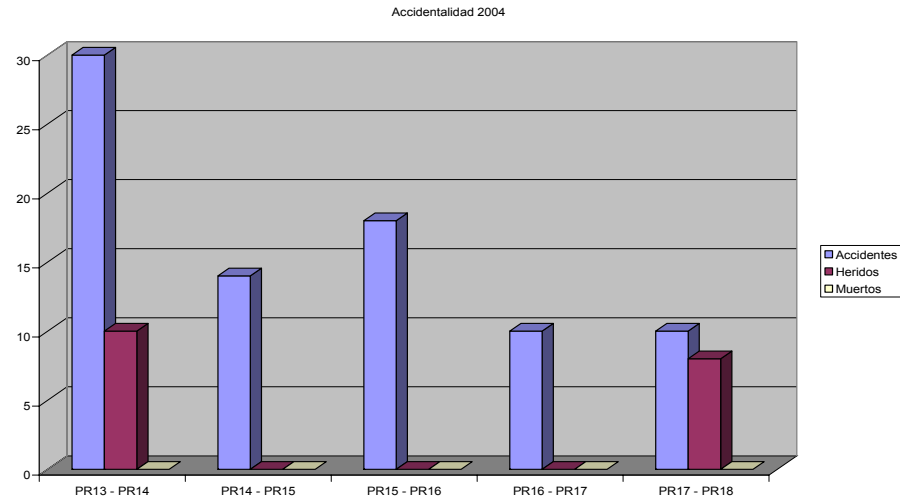
Tabla 41. Accidentalidad Año 2006

	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTOS
PR13 - PR14	42	6	2
PR14 - PR15	34	8	0
PR15 - PR16	52	32	2
PR16 - PR17	32	18	0
PR17 - PR18	14	6	0

Fuente: Autor del Proyecto

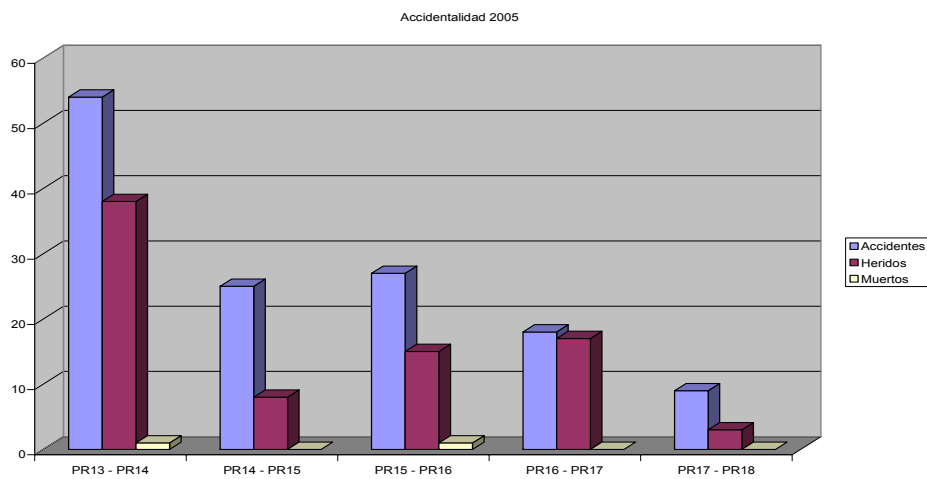
Solución. A continuación se gráfica la accidentalidad cada año y se pueden observar los sitios más críticos en cuanto a accidentalidad, morbilidad y mortalidad de los tres años en análisis:

Figura 7. Accidentalidad 2004



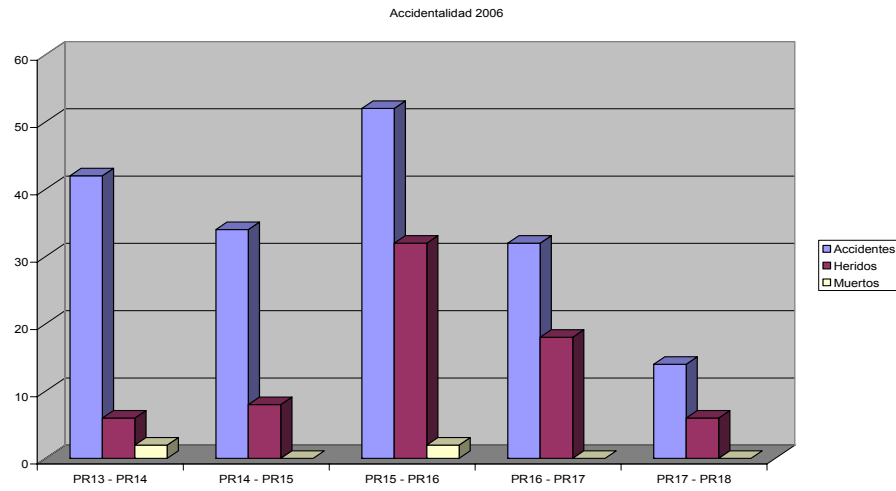
Fuente: Autor del Proyecto

Figura 8. Accidentalidad 2005



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 9. Accidentalidad 2006



Fuente: Autor del Proyecto

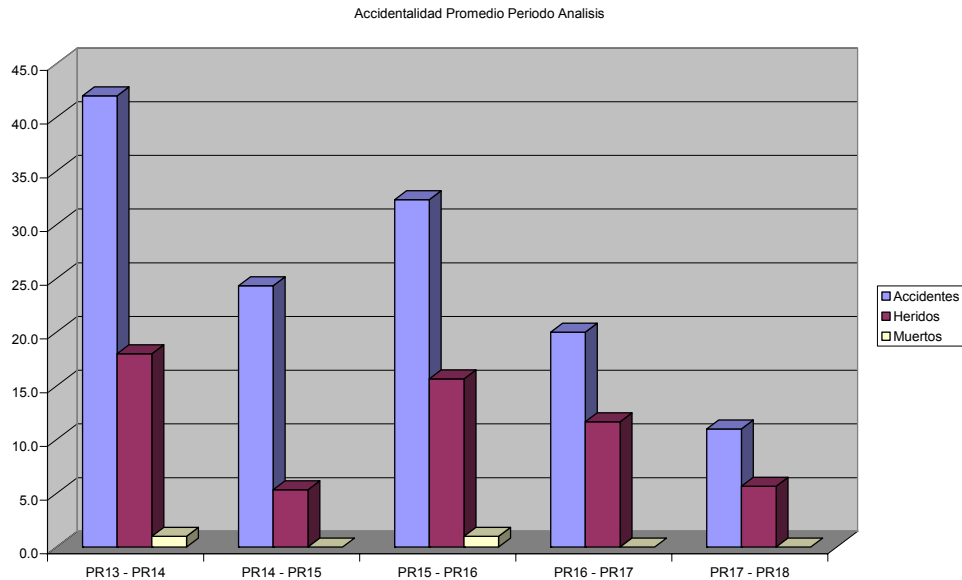
Se estima el promedio general para el periodo en estudio por sitios críticos de análisis y es el siguiente:

Tabla 42. Promedio General Anual de accidentes

	ACCIDENTES	HERIDOS	MUERTOS
PR13 - PR14	42,0	18,0	1,0
PR14 - PR15	24,3	5,3	0,0
PR15 - PR16	32,3	15,7	1,0
PR16 - PR17	20,0	11,7	0,0
PR17 - PR18	11,0	5,7	0,0

Fuente: Autor del Proyecto

Figura 10. Accidentalidad Promedio Periodo de Análisis.



Fuente: Autor del Proyecto

Los promedios generales para el periodo considerado dan **25.9** accidentes, **11.3** heridos y **0.4** muertos anuales por sitio.

Para seleccionar los sitios críticos se emplea el método sugerido en el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito basado en la evaluación de los sitios por puntajes ponderados para los tres tipos principales de accidentes, teniendo en cuenta los costos económicos que ocasiona en promedio cada uno de ellos otorgando como es lógico el más alto puntaje a los siniestros con muerte, el siguiente a los accidentes con heridos y el menor a los choques simples.

Los puntajes en cuestión son los siguientes:

Accidente con muerto (s) y con herido (s) : 12 puntos

Accidente con herido: 3 puntos

Choque simple: 1 punto

En el siguiente cuadro se presentan las cifras de accidentes simples (As), con heridos (Ah), con muertos (Am) y totales (At), así como los puntajes respectivos de acuerdo a la ponderación descrita donde:

K1 = 1

K2 = 3

K3 = 12

Pt: Puntaje total para cada sitio

Tabla 43. Evaluación de puntos críticos por puntajes ponderados

	As	Ah	Am	At	K1 x As	K2 x Ah	K3 x Am	Pt
PR13 - PR14	42	18	1	61	42	54	12	108
PR14 - PR15	24	5	0	30	24	16	0	40
PR15 - PR16	32	16	1	49	32	47	12	91
PR16 - PR17	20	12	0	32	20	35	0	55
PR17 - PR18	11	6	0	17	11	17	0	28
Fuente: Autor del Proyecto								

Tabla 44. Evaluación de puntos críticos por puntajes ponderados Ordenados forma Descendente

	As	Ah	Am	At	K1 x As	K2 x Ah	K3 x Am	Pt
PR13 - PR14	42	18	1	61	42	54	12	108
PR15 - PR16	32	16	1	49	32	47	12	91
PR16 - PR17	20	12	0	32	20	35	0	55
PR14 - PR15	24	5	0	30	24	16	0	40
PR17 - PR18	11	6	0	17	11	17	0	28

Fuente: Autor del Proyecto

Como se pudo notar en los gráficos anteriores los sitios mas críticos están comprendidos entre el PR13 a PR14 y PR15 a PR16, con un puntaje ponderado de 108 y 91 respectivamente.

10. Para la construcción de una carretera, se desea hacer una proyección de Transito con un nivel de confiabilidad del 95 %. Se estima un periodo de diseño de 10 años desde el año 2007. La serie histórica de transito es la que se muestra en la Tabla 45:

Tabla 45. Serie Histórica de transito

AÑO	TPD
1996	6898
1997	7456
1998	9568
1999	9785
2000	10489
2001	10592
2002	12896
2003	13068

Fuente: Autor del Proyecto

Solución. Se debe determinar el intervalo de confianza del 95%, para ello se utiliza la distribución normal:

$$\bar{X} - Z_{(\alpha/2)} \frac{\delta}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{(\alpha/2)} \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

Donde,

\bar{X} , Media de los datos.

$Z_{(\alpha/2)}$, Valor de la distribución normal para un nivel de confianza del 95%. Se estima de la tabla de distribución normal. Donde $(1-\alpha)=0.05$, $\alpha/2=0.025$, para lo cual $Z_{(\alpha/2)}=1.96$.

δ , Desviación estándar

n, Numero de datos

X	10094
δ	2304.82
$Z_{(\alpha/2)}$	1.96
n	8

Se estima ahora el intervalo en el cual los datos tienen en 95% de confiabilidad.

$$10094 - 1.96 \times \frac{2304.82}{\sqrt{8}} \leq \mu \leq 10094 + 1.96 \times \frac{2304.82}{\sqrt{8}}$$
$$9529.32 \leq \mu \leq 10658.68$$

Los TPD de los años 1998,1999, 2000 y 2001 tienen un 95% de confiabilidad, por tanto con estos datos se hace la proyección de tránsito.

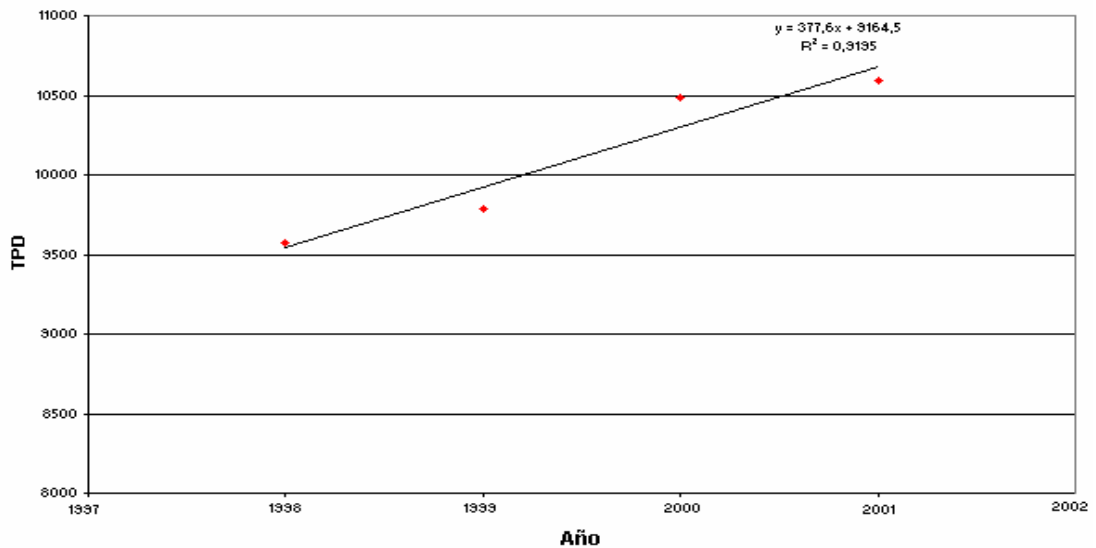
Tabla 46. Serie con el 95% de confiabilidad.

AÑO	TPD
1998	9568
1999	9785
2000	10489
2001	10592

Fuente: Autor del Proyecto

Se hace una proyección lineal a los datos que tienen un 95% de confiabilidad.

Figura 11. Proyección lineal del Transito



Fuente: Autor del Proyecto

La ecuación lineal de proyección es $Y=367.6X+9164.5$, con una correlación de 0.92

Tabla 47. Proyección de Transito

AÑO	TPD
2007	12941
2008	13318
2009	13696
2010	14073
2011	14451
2012	14829
2013	15206
2014	15584
2015	15961
2016	16339
2017	16717

Fuente: Autor del Proyecto

Los resultados mostrados en la tabla 47, pertenecen al tráfico promedio diario que circulará por la vía entre el año 2007 y 2017 con un 95% de confiabilidad.

3. CONCLUSIONES

La practica Empresarial es una gran escuela para un estudiante de pre- grado, permite reforzar sus conocimientos por medio de la participación en proyectos reales que ponen en practica los conceptos vistos durante la vida universitaria, apoyados por profesionales con experiencia.

El desarrollo de la guía para contribuir a la comprensión de la Ingeniería de Transito se realizó con el fin de brindar un apoyo a aquellos que deseen conocer acerca de los contenidos básicos de esta rama de la Ingeniería.

La guía de la ingeniería de tránsito, responde a las nuevas exigencias viales, en referencia a la estimación de la oferta y demanda de transporte, comportamiento del tránsito vehicular, de la capacidad vial y sus niveles de servicio; de igual forma, en la determinación en magnitud y forma, de las relaciones entre las variables que describen el comportamiento del tránsito actual y futuro, para fines de planeamiento, estudio, diseño, operación y administración de los sistemas viales y de transporte.

El desarrollo de los conceptos y ejemplos de estudios de transito representan los elementos indispensables en la ejecución de los demás estudios componentes de todo el proyecto, pero específicamente para el diseño geométrico, y evaluación de alternativas de diseño propuestas.

La elaboración de estudios y diseños viales durante la práctica empresarial fundamentalmente sirvieron para complementar el desarrollo del presente proyecto y tener elementos básicos al inicio del mismo.

Las proyecciones de tránsito permiten conocer de una manera más detallada el comportamiento que puede tener una carretera durante su periodo de diseño y para su determinación existen diferentes metodologías, sin embargo puede concluirse que generalmente este comportamiento es lineal.

El proyecto se desarrolló usando una metodología de inventario, análisis, planteamiento y evaluación de ejercicios aplicados a la ingeniería de Tránsito. En la primera etapa se detallaron los resultados obtenidos en cada uno de los estudios de tránsito, con su respectivo análisis y de las actividades realizadas como practicante. Posteriormente se elaboró la contribución a la ingeniería de tránsito.

La disponibilidad de esta guía para la comprensión de la ingeniería de tránsito expande en gran medida la oportunidad de desarrollo de nuevos e innovadores conceptos para el manejo de sistemas de transporte.

La participación en el mantenimiento de Sistema de Gestión de Calidad y la elaboración de propuestas durante la práctica empresarial, aportaron enormes conocimientos y además servirán para implementarlos en el desarrollo como profesional.

4. RECOMENDACIONES

Este proyecto fue elaborado con el propósito de contribuir a la comprensión de temas básicos para la ejecución de un estudio de Transito, sin embargo seria útil complementarlo en otros temas que no se trataron y que son importantes en el desarrollo de un sistema de transporte o un proyecto vial.

Para la realización de un estudio de transito es necesario partir de datos históricos recopilados a través de información existente, por esta razón estos datos no siempre son confiables y es aconsejable hacer una análisis detallado utilizando métodos estadísticos o generar nuevos datos mediante técnicas de conteos y entrevistas.

Los métodos utilizados en el desarrollo de los ejemplos prácticos de la guía de Ingeniería de Transito son los mas comunes en el desarrollo de este tipo de estudios, sin embargo se aclara que existen otras metodologías y que su aplicación depende de cada usuario.

Los factores de equivalencia utilizados para el cálculo de Número de Ejes Equivalentes son para fines prácticos de los ejercicios planteados; es decir, pueden determinarse dependiendo del tipo de vehículo o estimarse a través de tablas estandarizadas.

Es útil implementar un sistema de Gestión de Calidad en una Empresa, sin embargo debe documentarse y mantenerse para mejorar continuamente su eficacia.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA VÉLEZ, Carlos Alberto. Formulación y Evaluación de Proyectos Viales y de Transporte. Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Popayán, 2005.

BRAVO, Paulo Emilio. DISEÑO DE CARRETERAS Técnica y Análisis del Proyecto. Sexta Edición, Bogotá, 1998.

CAL Y MAYOR, Rafael; CARDENAS G, James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. Segunda Edición, México, 1994.

CASTELLANOS NIÑO, Víctor Manuel. Principios Fundamentales de Diseño Vial. Ediciones UIS, Bucaramanga, 1993.

GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Ingeniería de Transito y Carreteras. Tercera Edición, México, 2005.

HIGHWAY CAPACITY MANUAL. Estados Unidos. Version 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. 1998

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de ensayo de materiales para carreteras. 1998

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. 1998

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras.

Norma NTC ISO 9001:2000. Sistema de Gestión de Calidad.

OLIVERA, Fernando. Estructuración de Vías terrestres. Segunda Edición, México, 1996.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA, Manual de Capacidad y Niveles de servicio para carreteras de dos carriles, Popayán, 1996.