



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: CAPT. DE ING. OCHOA PAUTA, PAUL FERNANDO

**TEMA: ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL ANILLO
VIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, EX
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

DIRECTOR: ING. ROJAS RUALES, FRANCO HERNAN

CODIRECTOR: ING. BONIFAZ GARCÍA, HUGO FABIÁN

SANGOLQUI, DICIEMBRE DEL 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. CAPT. DE ING. PAUL FERNANDO OCHOA PAUTA, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, diciembre del 2013

ING. FRANCO ROJAS
DIRECTOR

ING. HUGO BONIFAZ
CODIRECTOR

REVISADO POR

ING. PATRICIO ROMERO
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, CAPT. DE ING. PAUL FERNANDO OCHOA PAUTA.

Declaro que:

El proyecto de grado denominado “ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL ANILLO VIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, EX ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”, ha sido desarrollado en base a una investigación, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que consta en el texto del proyecto y cuyas fuentes se mencionan en la bibliografía, por tal motivo el presente trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad del mencionado proyecto de grado.

Sangolquí, diciembre del 2013

PAUL F. OCHOA P.

CAPT. DE ING.

AUTORIZACIÓN

Yo, CAPT. DE ING. PAUL FERNANDO OCHOA PAUTA.

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo "ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL ANILLO VIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, EX ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO (ESPE)". cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, diciembre del 2013

PAUL F. OCHOA P.

CAPT. DE ING.

DEDICATORIA

El presente trabajo quiero dedicar:

A mi amada esposa María José, por ser una persona excepcional, que me ha brindado su apoyo incondicional y ha hecho suyos mis preocupaciones y problemas, porque con su comprensión permitió que el camino fuera menos difícil de recorrer y que fue la fuente de inspiración para saber hacia dónde ir.

A mis hijos Fernando José y Doménica Monserrath, por ser lo más grande y valioso que Dios me ha regalado, quienes son mi más grande orgullo y la razón que me impulsa a salir adelante.

A mis padres, quienes tuvieron la bendición de Dios para poder proporcionarme la vida, en especial a ti Segundo Serafín que con tus consejos y ejemplo me supiste inculcar que nada en la vida es imposible y que aunque ya no te encuentras en este mundo pero estoy seguro que desde el cielo acompañas con gran alegría cada uno de mis logros alcanzados.

A mis familiares, que siempre me apoyaron y creyeron en mí en todo momento, los cuales son seres que amo por todo el cariño y amor que me han otorgado en algún momento de mi vida.

***Paul Fernando Ochoa Pauta
CAPT. DE ING.***

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y permitirme culminar con éxito un nuevo reto en mi vida, ya que con sus bendiciones me ilumino y me concedió la voluntad para lograrlo y no rendirme cuando el camino se ponía difícil.

A Dios por darme una excelente esposa, compañera y amiga, quien se convirtió en el pilar fundamental para la consecución de mis sueños, mi vida ahora nos toca seguir soñando, gracias señor por María José.

A Dios por brindarme la oportunidad de ser padre y darme una luz y un camino, mis dos grandes tesoros, mis dos hijos, quienes son la razón de enfrentar nuevos retos que me pondrá la vida, gracias señor por Fernando José y Doménica Monserrath.

A mi noble institución, el glorioso Ejército Ecuatoriano quien me brindo la oportunidad de prepararme en el campo académico, para servir a mi Institución, a la sociedad y a mi País.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, quien me acogió en sus aulas y me permitió ser un Ingeniero Civil, inculcándome aun más los valores de honradez, honestidad y profesionalismo.

Un sincero agradecimiento al Ing. Franco Rojas, Ing. Hugo Bonifaz, Director y Codirector respectivamente del presente trabajo, quienes con su apoyo incondicional y dedicación me impartieron sus conocimientos y me guiaron para culminarlo con éxito.

A todos los maestros, de quienes tuve el privilegio de adquirir sus vastos conocimientos y que día a día se sacrificaron por impartirme sus conocimientos y encaminarme en el camino del saber,

Paul Fernando Ochoa Pauta
CAPT. DE ING.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPITULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5 METAS	7
CAPITULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES.....	8
2.2 MARCO TEÓRICO	11
2.2.1. PAVIMENTO	11
2.2.2. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	12
2.2.3. DURACION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.	15
2.2.4. DETERIORO DEL PAVIMENTO	17
2.2.5. LOS DISEÑOS COMUNES DE PAVIMENTOS NO PROPORCIONAN SUFICIENTE DRENAJE.	21
2.2.6. FACTORES BÁSICOS.....	21

2.3	ALCANCE	23
	CAPITULO III	26
	METODOLOGÍA.....	26
3.1	ESTUDIO DE TRÁFICO	26
3.1.1.	VOLÚMEN DE TRÁNSITO.....	37
3.1.2.	VOLUMEN DE TRÁNSITO ABSOLUTOS O TOTALES.....	38
3.1.2.1.	TRÁNSITO HORARIO (TH).....	38
3.1.2.2.	TRÁNSITO DIARIO (TD)	38
3.1.2.3.	TRÁNSITO SEMANAL (TS).....	38
3.1.2.4.	TRÁNSITO MENSUAL (TM).....	38
3.1.2.5.	TRÁNSITO ANUAL (TA).....	39
3.1.2.6.	TRÁNSITO EN UN PERIODO INFERIOR A UNA HORA	39
3.1.3.	VOLÚMEN DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIOS.....	39
3.1.3.1.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)	40
3.1.3.2.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO MENSUAL (TPDM)	40
3.1.3.3.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)	41
3.1.4.	TRÁNSITO FUTURO (TF).....	41
3.1.5.	CÁLCULO DE LOS VOLUMEN DE TRÁNSITO ABSOLUTOS O TOTALES.....	42
3.1.5.1.	TRÁNSITO HORARIO (TH).....	42
3.1.5.2.	TRÁNSITO DIARIO (TD).	42
3.1.5.3.	TRÁNSITO SEMANAL (TS).....	43
3.1.5.4.	TRÁNSITO MENSUAL (TM).....	44
3.1.5.5.	TRÁNSITO ANUAL O ACTUAL (TA)	44
3.1.5.6.	TRÁNSITO EN UN PERIODO INFERIOR A UNA HORA	47

3.1.6.	CÁLCULO DE LOS VOLUMENES DE TRÁNSITO PROMEDIOS DIARIOS.....	47
3.1.6.1.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).	47
3.1.6.2.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO MENSUAL (TPDM).	48
3.1.6.3.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS).....	51
3.1.7.	CÁLCULO DE TRÁNSITO FUTURO.....	51
3.1.7.1.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL FUTURO (TPDAF)....	55
3.2	EVALUACIÓN FUNCIONAL	56
3.2.1.	EVALUACIÓN VISUAL.....	58
3.2.2.	TIPO DE FALLAS O DETERIOROS DEL PAVIMENTO DE SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO.....	58
3.2.2.1.	FATIGA.....	64
3.2.2.2.	BLOQUE	68
3.2.2.3.	LONGITUDINAL	71
3.2.2.4.	TRANSVERSAL.....	75
3.2.2.5.	PARQUES / DETERIORO DE PARQUES	79
3.2.2.6.	BACHES	82
3.2.2.7.	CORRUGACIONES TRASNVERSALES	85
3.2.2.8.	DESGASTE DE ÁRIDOS / DESHILACHADURA.....	87
3.2.2.9.	AGUA SANGRADO Y BOMBEO	90
3.2.3.	RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE FALLAS.....	92
3.3	EVALUACION ESTRUCTURAL	93
3.3.1.	ENSAYOS	94
	CAPITULO IV.....	98
	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	98

4.1 DISEÑO DE PAVIMENTO	98
4.2 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....	104
CAPITULO V	105
ANÁLISIS DE COSTOS	105
5.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	105
5.2 PRESUPUESTO.....	105
CAPITULO VI.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
6.1 CONCLUSIONES	106
6.2 RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	108

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, sábado 20 de abril del 2013.	28
Tabla 2: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, domingo 21 de abril del 2013.	29
Tabla 3: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, lunes 22 de abril del 2013.....	30
Tabla 4: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, martes 23 de abril del 2013.	31
Tabla 5: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, miércoles 24 de abril del 2013.....	32
Tabla 6: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, jueves 25 de abril del 2013.	33
Tabla 7: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, viernes 26 de abril del 2013.	34
Tabla 8: Tránsito Diario (TD).....	43
Tabla 9: Tránsito Mensual (TM).	44
Tabla 10: Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM).....	49
Tabla 11: Tránsito Futuro (TF).	53
Tabla 12: Fallas o Deterioros para Pavimentos de Superficie de Concreto Asfáltico (ACP).....	60
Tabla 13: Símbolos de las fallas de Pavimentos de Superficie de Concreto Asfáltico (ACP).....	61
Tabla 14: Levantamiento de fallas del Carril Exterior.	92
Tabla 15: Levantamiento de fallas del Carril Interior.	93

Tabla 16: Ensayos realizados según normas ASTM.....	94
Tabla 17: Resultados de los ensayos realizados, Cota Inicial 2526,67 m.s.n.m., Cota Final 2525,54 m.s.n.m.....	96
Tabla 18: Resultados de los ensayos realizados, Cota Inicial 2511,66 m.s.n.m., Cota Final 2510,46 m.s.n.m.....	96
Tabla 19: Datos de ingreso al programa.	99
Tabla 20: Verificación de deformación según ejes equivalentes vs. deformaciones según estructura existente.	103

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: Volúmen de vehículos cada 30 minutos	35
Cuadro 2: Volúmen de vehículos cada 1 hora.....	36
Cuadro 3: Volúmen de vehículos en una semana.....	43
Cuadro 4: Tránsito mensual (TM).....	46
Cuadro 5: Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM).....	50
Cuadro 6: Tránsito Futuro (TF).....	54

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Sección transversal típica de una carretera	14
Figura 2: Curva típica que representa el deterioro del pavimento.....	18
Figura 3: Puntos de la Curva de Deterioro del Pavimento	19
Figura 4: Hoja mapa de una sección de pavimento.	63
Figura 5: Falla por fatiga, ACP 1.	64
Figura 6: Símbolo de Falla por fatiga.	67
Figura 7: Falla de Bloque, ACP 2.....	68
Figura 8: Símbolo de Falla de Bloque.	71
Figura 9: Falla longitudinal, ACP 4.....	71
Figura 10: Símbolo de Falla longitudinal fuera (4b) y dentro (4a) de la ruta de la rueda.	75
Figura 11: Falla transversal, ACP 6.....	75
Figura 12: Símbolo de Falla Transversal, según nivel de severidad.	79
Figura 13: Parche/Deterioro del parche, ACP 7.	79
Figura 14: Símbolo de Falla de Parche.....	82
Figura 15: Baches, ACP 8.....	83
Figura 16: Símbolo de Baches.	85
Figura 17: Corrugaciones, ACP 10.....	86
Figura 18: Símbolo de Corrugaciones.....	87
Figura 19: Símbolo de Falla por desgaste de áridos.....	89
Figura 20: Símbolo de sangrado de agua.	92
Figura 21: Diferencia de altura entre calicatas.	97
Figura 22: Ingreso de datos.....	98
Figura 23: Ingreso del tránsito futuro, tabla 11.....	99

Figura 24: Altura de Carpeta asfáltica y base.....	100
Figura 25: Estructura del pavimento.....	100
Figura 26: Altura de Carpeta asfáltica y base especificados.....	101
Figura 27: Ingreso de datos.....	102
Figura 28: Deformaciones de tracción y compresión.	102
Figura 29: Estructura de Pavimento existente.....	106
Figura 30: Propuesta de la Nueva Estructura de Pavimento.....	107

LISTADO DE FOTOS

Foto 1: Pavimento deteriorado por presencia de agua.....	23
Foto 2: Ingreso posterior de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ex Escuela Politécnica del Ejército. (CAPT Ochoa P, 2013)	27
Foto 3: Patrón típico de Falla por fatiga, ACP1	65
Foto 4: Falla por fatiga de baja gravedad, ACP 1B.	65
Foto 5: Falla por fatiga moderada gravedad, ACP 1M.	66
Foto 6: Falla por fatiga de alta gravedad, ACP 1A.	67
Foto 7: Falla de Bloque, ACP2.	68
Foto 8: Falla de bloque de alta gravedad, ACP 2A.	70
Foto 9: Falla longitudinal, en ruta de rueda, ACP 4a M.	73
Foto 10: Falla Longitudinal, fuera de ruta de rueda, ACP 4b A.	74
Foto 11: Falla transversal de baja gravedad, ACP 6B.....	76
Foto 12: Transversal, moderada gravedad, ACP 6M.	77
Foto 13: Falla transversal de alta gravedad, ACP 6A.....	77
Foto 14: Deterioro de parche de baja gravedad, ACP 7B.	80
Foto 15: Deterioro de parche de moderada gravedad, ACP 7M.	81
Foto 16: Deterioro de parche de alta gravedad, ACP 7A.	81
Foto 17: Bache de baja gravedad, ACP 8B.....	83
Foto 18: Bache de moderada gravedad, ACP 8M.....	84
Foto 19: Bache de alta gravedad, ACP 8A.....	84
Foto 20: Falla por Corrugaciones, ACP 10.....	86
Foto 21: Pérdida de agregado fino, ACP 13.....	88
Foto 22: Pérdida de agregado fino y algún grueso, ACP 13.	88
Foto 23: Pérdida de agregado grueso, ACP 13.....	89

Foto 24: Agua sangrado y bombeo, ACP 15..... 90

Foto 25: Material fino que queda en la superficie por expulsión de
agua y bombeo, ACP 15. 91

Foto 26: Calicata 95

Foto 27: Espesor de la carpeta asfáltica. 95

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1.....

ANEXO 2.....

RESUMEN

El presente proyecto de tesis “**Estudio y propuesta de mejoramiento del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ex Escuela Politécnica del Ejército**”, se lo enfoco para realizar varios estudios y análisis entre los cuales tendremos un estudio de tránsito que nos permitirá determinar los volúmenes de tránsito absolutos o totales y promedios diarios que actualmente está soportando la estructura, el análisis funcional nos permitirá determinar las fallas o deterioros que ha sufrido la carpeta asfáltica mediante un levantamiento gráfico tomando como texto base el manual de la FHWA, un análisis estructural que nos indicara en qué condiciones se encuentra la estructura del pavimento para lo cual se utilizo el laboratorio de ensayo de materiales de la universidad y se realizaron los ensayos de límite líquido y plástico, granulometría por lavado y tamizado, clasificación de suelos, compactación (proctor) y CBR de dicha estructura basándonos en las normas ASTM. Con los resultados obtenidos se realizara el diseño de la estructura de pavimento y se realizara la propuesta de mejoramiento con su respectivo análisis de precios unitarios (APU) y presupuesto.

PALABRAS CLAVES

- Estudio de tránsito.
- Análisis funcional.
- Análisis estructural.
- Estructura del pavimento.
- Ensayos.

ABSTRACT

The present draft of the thesis "study and proposal for the improvement of the ring road of the University of the Armed Forces - ESPE, former Polytechnic School of the Army," is focused to perform several studies and analyzes, one study will help to determine the absolute volumes of transit or totals and averages per day which is currently supporting the structure, the functional analysis will allow us to identify the failures or damage that has suffered the asphalt folder through a lifting graph taking as basic text the FHWA manual, a structural analysis that will show the conditions of the structure of the pavement. The university laboratory and materials were used for the testing and the trials were conducted in liquid limit and plastic, grain size by washing and screening, soil classification, soil compaction (proctor) and CBR of this structure based on the ASTM standards. With the results obtained the pavement structure will be design and the proposal for improvement with their respective unit rice analysis (APU) and budget will be present.

PALABRAS CLAVES

- Transit study.
- Functional analysis.
- Structural analysis.
- Pavement structure.
- Soils test.

CAPITULO I

ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL ANILLO VIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, EX ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los caminos y carreteras desde su aparecimiento han sufrido grandes evoluciones, iniciando desde los caminos que se formaban por el continuo paso de personas y animales, hasta lo que hoy en día son grandes autopistas, por donde transita un gran volumen de vehículos de diferente tipo, tamaño y servicio, las vías de la actualidad deben cumplir normas y estándares con la finalidad de proporcionar seguridad, comodidad y confort a los usuarios.

La evolución de las carreteras así como el avance tecnológico, a impulsado a profesionales expertos en el ámbito de construcción de carreteras a buscar y determinar nuevas y mejores técnicas de construcción de las mismas, poniendo mayor énfasis en la capa de rodadura con el objetivo de poder tener un camino que sea en su construcción y mantenimiento económicamente viable y que además sea seguro en la transitabilidad, eficiente y que cumpla la finalidad para la cual fue construida.

El pavimento está conformado por varias capas de material seleccionado adecuadamente, entre estas capas está la de rodadura que recibe

directamente las cargas del tránsito y las trasmite de manera eficiente a los extractos inferiores que conforman la estructura de la carretera. Las capas que conforman el pavimento deben tener la resistencia adecuada para soportar las cargas y esfuerzos destructivos que produce el continuo paso de vehículos y así evitar fallas y agrietamientos en la vía.

La red vial se constituye en un infraestructura de vital importancia para el desarrollo económico, social y cultural de un país, ya que interconectan los puntos de producción y consumo, permiten el acceso a servicios y recursos y además se constituye en la mayor decisión de la estructura de un estado por ser la que determina el sentido de crecimiento del mismo, por ende fomenta su desarrollo.

Por tal razón, para mantener la red vial en óptimas condiciones de servicialidad, se deben planificar y realizar importantes inversiones en mantenimiento, ya que los caminos una vez que entran a prestar su servicio, comienza su deterioro y a medida que van apareciendo mayores deterioros, los costos para su rehabilitación, conservación serán mayores.

Cuando aparecen fallas y agrietamientos en la capa de rodadura, estas tienen grandes repercusiones en esta estructura, porque va a disminuir la vida útil de la vía, la seguridad, comodidad y confort del usuario y en muchos casos ocasionara daños en los vehículos.

Cuando comience el aparecimiento de las fallas, estas deben ser corregidas inmediatamente con trabajos de mantenimiento y conservación, ya que estas fallas sufrirán un deterioro continuo y progresivo mientras el tráfico vehicular continúe usando la vía y no se haya tomado las medidas correctivas adecuadas, lo que conllevará a un mayor costo económico la rehabilitación e incomodidades a los usuarios mientras duren los trabajos de mitigación.

Existen muchas opciones disponibles para rehabilitar una carretera, pero lo difícil es determinar cuál de estas es la más adecuada, sin embargo por las experiencias encontradas en varios países se ha llegado a determinar que la respuesta a dos interrogantes que debemos plantearnos inicialmente nos será de mucha ayuda para encontrar la solución más adecuada, es decir la solución que sea la más económica y que cumpla con las expectativas de los usuarios de la vía. Estas preguntas son:

- *¿Qué se encuentra realmente mal en el pavimento existente?*

Para dar respuesta a esta pregunta, debemos realizar una observación superficial y una observación estructural del pavimento, esta observación consistirá en realizar la inspección visual acompañada de ensayos de laboratorio, cuyos resultados serán suficientes para entender y determinar la magnitud del deterioro de la estructura.

- *¿Qué desea hacer?*

Con los resultados que hayamos obtenido de la pregunta anterior, podremos decidir entre realizar un nuevo diseño de la vía y su posterior construcción o realizar una planificación para reparar los deterioros que ha sufrido el pavimento, considerando para cada alternativa el costo de inversión y así poder decidir por la alternativa más viable.

Al realizar el análisis de las fallas que se presentan en el pavimento, este debe dirigirse con mayor hincapié a determinar cuáles fueron las causas y orígenes que a determinar los trabajos de rehabilitación de las fallas.

En este contexto, se ha considerado la necesidad de realizar el estudio de las condiciones actuales del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, ex Escuela Politécnica del Ejército, proponiendo la solución más conveniente para su mantenimiento y rehabilitación de la estructura desde el punto de vista técnico, económico y de servicio, para estar al par de las necesidades y exigencias de la colectividad ecuatoriana que día a día asisten a la instalaciones de esta prestigiosa universidad a prepararse como los nuevos líderes de la Patria y ser entes de desarrollo de nuestro país.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio y evaluación del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, ex Escuela Politécnica del Ejército, proponiendo una solución para la rehabilitación del mismo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los diferentes tipos de fallas existentes en la capa de rodadura del anillo vial y las causas que las produjeron.
- Determinar el nivel de intervención en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, al ser una Universidad de gran prestigio a nivel nacional e internacional, ha sufrido durante el tiempo un desarrollo y crecimiento constante tanto en el número de alumnos como en el número de instalaciones y usuarios, esto debido a que dentro del Campus Politécnico además de los servicios educativos, se proporciona servicios adicionales a la ciudadanía del Cantón Rumiñahui y sus alrededores, esto ha hecho que se incremente considerablemente el número de vehículos que ingresan a las instalaciones de la universidad, generando problemas de tránsito, los cuales deben ser solucionados de manera inmediata.

Cuando en el pavimento comienzan a presentarse problemas en su estructura, en especial en la capa de rodamiento, esta ya no está cumpliendo los requerimientos mínimos necesarios para lo cual fue diseñada, por lo tanto se hace necesario determinar las soluciones más

adecuadas para rehabilitarla tanto en la parte económica como en la comodidad, confort y sobre todo en la seguridad de los usuarios. Aunque no se cuente con un sistema que permita medir el grado de seguridad que proporciona la vía al usuario, se deben considerar varios factores que van a proporcionar seguridad al usuario, entre estos factores se puede describir los siguientes:

- Velocidad de circulación.
- Estado de neumáticos.
- Textura de la carpeta de rodadura.
- Condiciones climáticas.
- Conductor.
- Señalización.
- Trazado geométrico de la vía.

Por el tráfico vehicular que está soportando actualmente la el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, y debido a las cargas y esfuerzo destructivos que estos transmiten a la estructura del mismo y en especial a la capa de rodadura, han generado continuos daños, los mismos que han ocasionado problemas por no satisfacer íntegramente las necesidades y exigencias de los usuarios.

Por tal motivo se ha visto la necesidad de realizar un estudio que permita corregir las fallas que se están presentando en la estructura vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, ex Escuela Politécnica del

Ejército, para proyectar una imagen de calidad a la colectividad que hace uso diariamente del Campus Politécnico.

1.5 METAS

- Identificar las deficiencias de drenaje existentes a lo largo del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Realizar la evaluación funcional de la vía mediante un levantamiento gráfico de las fallas o deterioros de la carpeta asfáltica.
- Realizar la evaluación estructural de la vía realizando ensayos en el laboratorio de Ensayo de materiales de la Universidad.
- Proponer un diseño para mejorar la estructura del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Los pavimentos son estructuras conformadas por varias capas con un espesor y tipo de agregado diferente. Para conformar cada capa de esta estructura vial, el agregado debe cumplir con especificaciones para lograr la resistencia óptima de manera que no se ocasionen fallas en el pavimento, todas estas capas deben tener un funcionamiento adecuado para que puedan:

- Proporcionar al tránsito vehicular una capa de rodadura cómoda, segura y uniforme de acuerdo al diseño de vida útil con un mantenimiento adecuado.
- Resistir los esfuerzos provocados por el paso de vehículos, de manera que los esfuerzos que se transmiten a las diferentes capas de la estructura sean menores a las resistencias de cada capa.
- Resistir a condiciones meteorológicas extremas, en especial al agua y a los cambios de temperatura.

Para que el pavimento tenga las condiciones adecuadas para cumplir lo citado anteriormente, se debe considerar características funcionales y estructurales. Las características funcionales son las que van a proporcionar calidad de servicio al usuario, mientras que las estructurales se van a referir a las propiedades de los materiales utilizados en el pavimento.

Dentro de las características funcionales podríamos citar:

- *Regularidad de la superficie.*- Basada en que no existan fallas tanto transversales como longitudinales.
- *Resistencia al derrapamiento.*- La capa de rodadura debe proporcionar un coeficiente de fricción adecuado entre esta y los neumáticos.
- *Drenaje superficial.*- Pendientes adecuadas, textura de la capa de rodadura y regularidad de la vía, evitara que se presente una lamina de agua.
- *Reducir ruido.*- El ruido que se ocasiona en la parte interior del vehículo, se pueden reducir cuando el pavimento este bien diseñado y construido.

Cuando se planifica el diseño y construcción de un pavimento, este debe realizarse de manera que los costos económicos sean los mínimos y preste los servicios establecidos para los usuarios, de manera que la estructura sea viable y rentable.

Desde el aparecimiento de las vías, los primeros habitantes basados en su necesidad de trasladarse emplearon troncos, pieles y otros materiales para reforzar los suelos, pero por sus características tenían una corta vida de duración. Gracias a los avances tecnológicos en los últimos años se han producido una gran variedad de materiales de alta resistencia mecánica y ante otros agentes.

En la actualidad, el uso del geosintéticos ha aumentado considerablemente en el diseño y construcción de pavimentos, por la variedad de estos materiales que se dispone actualmente en el mercado y gracias a las diversas aplicaciones y por la facilidad de empleo.

En base a los que se tiene en la Norma ASTM 4439, se puede definir al Geosintético como un producto plano fabricado a partir de materiales poliméricos, para ser usado con suelo, roca, tierra, cualquier otro material de subrasante, como parte integral de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre.

Para cumplir estos usos, se utilizan principalmente tres tipos de geosintéticos que se detallan a continuación:

- *Geotextiles*.- Textil fabricado con fibras sintéticas de “plástico”, que generalmente no son biodegradables, para formar un producto semejante a un separador. Los geotextiles pueden ser tejidos o no tejidos y pueden tener diferentes grados de porosidad, área abierta y propiedades de resistencia. Se usan como barreras contra la humedad, para separación o refuerzo de suelos, para filtración y para drenaje. (Gordon & James, 2005)
- *Geomembranas*.- Son elementos elaborados con resinas vírgenes y selectas de polímeros, los cuales son química y biológicamente inertes, muy resistentes a los procesos degenerativos de los suelos. (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS MOP - 001, 2002). Las geomembranas tienen una baja permeabilidad, por lo que son empleadas

como barreras hidráulicas de fluidos y partículas en estructuras o sistemas realizados por el hombre.

- *Geomallas.*- Son elementos elaborados con resinas de polipropileno, las cuales son química y biológicamente inertes y muy resistentes a los procesos degenerativos de los suelos, deben ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección en el plano de la geomalla. (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS MOP - 001, 2002)

Las geomallas se emplean como elementos estructurales para distribuir adecuadamente las cargas que se transmiten de terraplenes, cimentaciones y pavimentos, así como cargas vivas, sobre terrenos de baja capacidad portante o como elementos de refuerzo a la tensión unidireccional.

Durante los años de empleo de geosintéticos y basado en diversos estudios realizados en laboratorios, observaciones de campo y análisis teóricos indican que la utilización de geosintéticos en pavimentos proporciona un mejor comportamiento de la estructura.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1. PAVIMENTO

El pavimento consiste en un conjunto de capas de material seleccionado que recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmite a los

estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una capa de rodadura que debe funcionar de manera eficiente para proporcionar seguridad, confort y comodidad a los usuarios.

Para que un pavimento funcione adecuadamente debe cumplir por lo menos con las siguientes condiciones:

- Anchura.
- Trazado horizontal y vertical.
- Resistencia adecuada a las cargas y deformaciones para evitar fallas y agrietamientos.
- Adecuada adherencia entre pavimento y vehículo.

2.2.2. PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible es una estructura de ingeniería que está conformada por una o varias capas colocadas una sobre otra, generalmente en forma horizontal a lo largo del trazado de la vía, las mismas que están construidas con materiales seleccionados y adecuadamente compactados hasta alcanzar la resistencia necesaria establecida en el diseño.

Las capas del pavimento flexible están comprendidas entre en nivel superior de la subrasante (suelo natural) hasta el nivel superior de la capa de rodadura.

Cada capa que conforma el pavimento flexible recibe cargas producidas por el tránsito, transmitiéndose estas cargas de capa en capa, de manera que la capa que está en contacto con los neumáticos de los vehículos es la que mayor carga soportara, siendo la capa de mayor capacidad de carga y a su vez la de mayor costo, mientras que la de menos capacidad de carga y de menor costo ira en la parte inferior.

Con lo citado anteriormente, y en base a lo que describe Gordon Keller & James Sherar en el libro de Ingeniería de Caminos Rurales publicado en el año 2005, se puede decir que la estructura típica de un pavimento flexible, considerando desde la capa de mayor resistencia hasta la capa de menor resistencia sería la siguiente:

- *Capa de rodadura.*- Capa superior de la superficie del camino sobre la cual circulan los vehículos. Debe ser durable, tener alta resistencia al resbalamiento e impermeable al agua superficial. Esta capa puede estar compuesta de una o varias capas asfálticas, el número de capas asfálticas va a depender del flujo de vehículos que va a soportar la vía.
- *Base.*- Capa principal de trasmisión de cargas en los carriles de circulación. El material de la base está constituido normalmente por piedra triturada o grava, suelos con grava, roca intemperizada, arenas y limos arenosos que pueden estabilizarse con cemento, cal o asfalto. Esta capa se encuentra inmediatamente abajo de la capa de rodadura y los materiales que la constituyen pueden estar estabilizados o sin estabilizar.

- *Sub base.*- capa secundaria de distribución de la carga y que subyace a la base. Normalmente está constituida por un material que tiene una menor resistencia y durabilidad que el material utilizado en la base, por ejemplo, grava natural sin procesar, grava y arena o una mezcla de grava, arena y limo. Esta capa cumple la función de drenante.

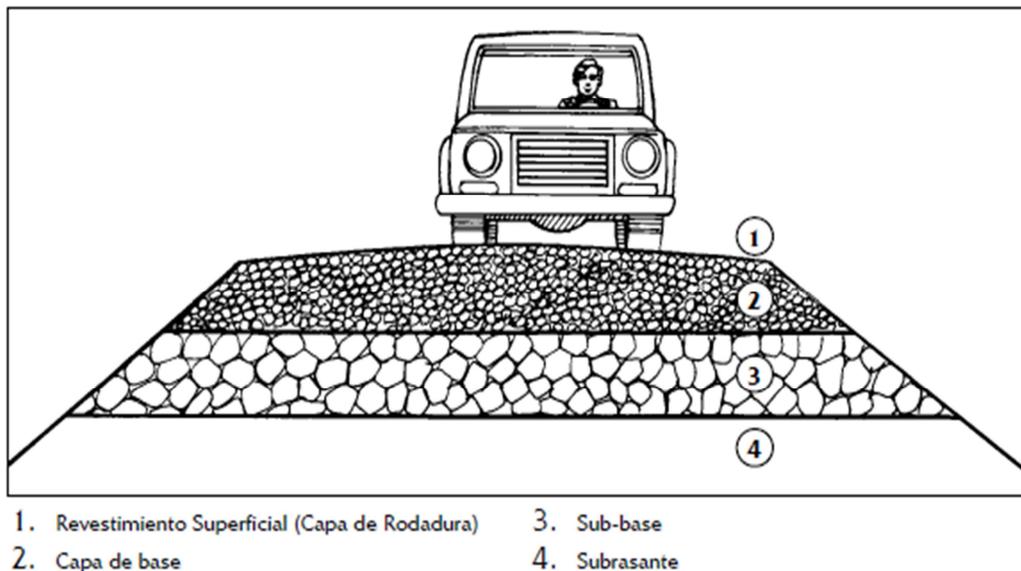


Figura 1: Sección transversal típica de una carretera

(Gordon & James, 2005)

A pesar de ser esta la estructura básica de un pavimento flexible, en ocasiones y dependiendo de las características y necesidades de la estructura vial que se ha diseñado, puede prescindirse de cualquiera de estas capas.

Una vía construida adecuadamente con pavimento flexible, debe cumplir con características básicas y propósitos que proporcionen a los usuarios la seguridad y comodidad requeridas.

Dentro de las características se puede citar: (Alma, 2012)

- Resistencia estructural.
- Deformabilidad.
- Durabilidad.
- Costo.
- Requerimientos de conservación.
- Comodidad.
- Señalización.

Dentro de los propósitos se puede citar: (Alma, 2012)

- Soportar y transmitir las cargas que se presentan por el tránsito.
- Debe ser impermeable.
- Soportar el desgaste que será producido por el tráfico y por los agentes climáticos.
- Conservar una superficie cómoda y segura para la circulación vehicular, es decir, la superficie no debe permitir deslizamiento de los vehículos.

2.2.3. DURACION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Para ejecutar el diseño de los pavimentos flexibles, este debe estar basado en un periodo mínimo de duración que se establece en 8 años antes de que sea necesario realizar la rehabilitación, es así que la duración óptima de un pavimento debería estar diseñada para 20 años. Esto se lo puede

lograr cuando se dé un mayor módulo de capacidad estructural a cada capa que conforma el pavimento, logrando una distribución de la carga en un área más amplia de la base, sub-base y en la sub-rasante.

Al analizar a los pavimentos flexibles, se puede fraccionar vida útil en tres fases, las que se mencionaran a continuación: (Rodríguez & Rodríguez, 2004)

- *Fase de Consolidación.*- Es la fase de vida inicial de un pavimento flexible, que se produce por la consolidación de una o de todas las capas que conforman la estructura, debido a las cargas que transmiten los vehículos al iniciar la circulación por esta vía. Esta fase es de un tiempo muy corto ya que las capas tienden a estabilizarse de una manera rápida. Este fenómeno va a depender básicamente de la compactación que recibieron las capas durante el proceso constructivo del pavimento y no ocurrirá si la compactación fue la adecuada.
- *Fase Elástica.*- Es la fase que determina la vida útil de un pavimento y que se da inmediatamente después de la fase de consolidación. Si se produce la consolidación, las ruedas de los vehículos producirán una deformación permanente que luego se convertirá en una deformación de recuperación instantánea de tipo elástica, cada rueda entonces provocara un movimiento vertical hacia abajo, conocido como deflexión, la misma que se recuperara una vez que el vehículo haya pasado, a esta se le conoce como rebote.

Las deformaciones elásticas que se presentan por la acción de los vehículos, en la capa de rodadura o asfáltica produce esfuerzos de tensión, mientras que en la base y sub-base produce esfuerzos de compresión. Por este motivo se dice que la vida del pavimento va a depender de esta fase, ya que la vida del pavimento va a depender de las deflexiones que podrá soportar, es así que los pavimentos que tengan menores deflexiones, van a tener una vida útil mayor a los que presenten deflexiones más elevadas.

- *Fase de Fatiga.*-es la fase final de la vida útil del pavimento, dada por la acumulación de las deflexiones ocasionadas desde la fase elástica que se han producido por el paso constante de vehículos, hasta que la capa se rompe por fatiga, momento desde el cual inicia el deterioro gradual en la vía. La rotura de la capa de rodadura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales, las mismas que por el continuo paso vehicular y la infiltración de agua superficial al pavimento, provoca su colapso, llegando de esta manera el pavimento al final de su vida útil.

2.2.4. DETERIORO DEL PAVIMENTO

El deterioro continuo y permanente de un pavimento de una vía inicia una vez que se ha culminado la construcción de la misma. El deterioro del pavimento en su mayor parte se basa principalmente a los factores ambientales y a la cantidad de vehículos que circulan por la vía, empeorando su estado y calidad.

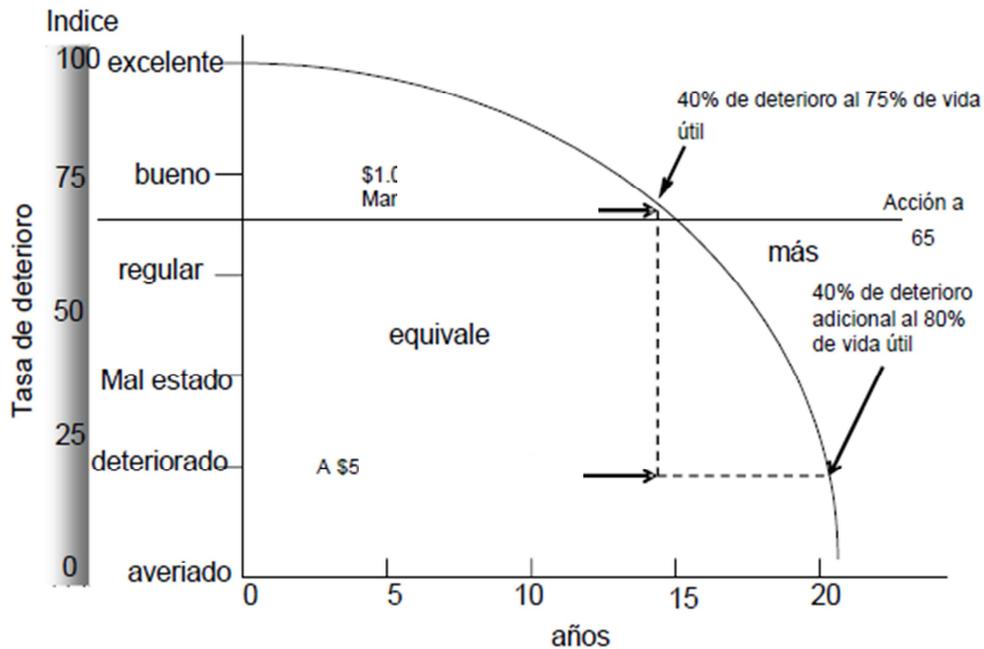


Figura 2: Curva típica que representa el deterioro del pavimento
(Dr. Salomón, 2009)

La cuantificación numérica del estado del pavimento se la puede determinar por el Índice de la condición del Pavimento (ICP), que realiza la clasificación de los pavimentos de acuerdo al grado y severidad de los tipos de daños que se presentan en la estructura, basada en una escala numérica que va desde 0 al 100, siendo 0 (cero) la peor condición y 100 la mejor condición del pavimento.

En la Figura 2, se muestra una curva típica de la tasa de deterioro del pavimento durante su vida útil. Se puede observar que un 40% de deterioro ocurre al 75% de la vida útil del pavimento, considerando el periodo de diseño. En este punto se sugiere se deben tomar decisiones de realizar acciones preventivas. (Dr. Salomón, 2009).

Al realizar el análisis de la Figura 2.- Curva de deterioro del pavimento, luego de varios estudios, El Ing. Augusto Jubo B, en su Manual de Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos Flexibles del año 2005, establece la ubicación de tres (3) puntos que son muy importantes considerar dentro de las políticas efectivas establecidas para efectuar el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, como se ilustra en la figura 3, estos puntos son:

- *Punto A*.- El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requiere el inicio de labores de mantenimiento rutinario menor, este mantenimiento se refiere al sellado de grietas, reparación de huecos y bacheo menor. Estas acciones menores de mantenimiento son importantes ya que ayudaran a controlar el deterioro del pavimento.

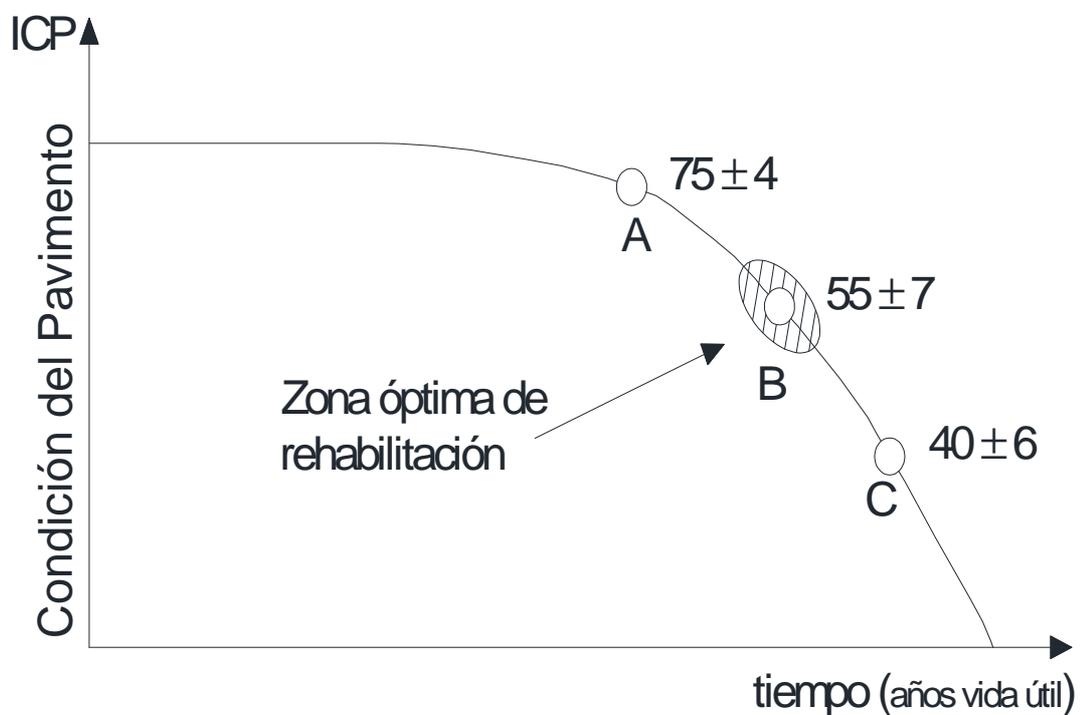


Figura 3: Puntos de la Curva de Deterioro del Pavimento

(Ing Jubo, 2005)

- *Punto B.*- El deterioro del pavimento comienza a crecer de una manera rápida pudiendo requerir acciones mayores de mantenimiento. Este punto se encuentra dentro de la zona conocida como “*zona óptima de rehabilitación*”, en la que trabajos de mantenimiento e inversiones menores van a producir grandes beneficios. En este punto la estructura de pavimento no ha sufrido daños considerables, conservando parte de su resistencia original de diseño, por lo que una adecuada intervención mejorar de manera considerable su condición y estructura.
- *Punto C.*- La condición del pavimento esta en un estado crítico, analizando desde el punto de vista funcional y estructural. En este punto el mantenimiento del pavimento va a tener costos muy elevados, requiriendo trabajos de mantenimiento mayor, rehabilitación o reconstrucción.

Los puntos B y C son los que se debe poner un mayor interés al realizar el análisis de un pavimento, debido a la magnitud del deterioro y costos que pueden ocasionar si no se realizar el mantenimiento óptimo en el tiempo adecuado, ya que este deterioro aumenta rápidamente en un tiempo muy corto entre estos dos puntos.

Es así que la ubicación del punto B, va a estar en función del tipo de vía y de la relación tráfico-estructura, mientras que el punto C es más difícil de ubicarlo ya que existen diferentes maneras de determinar la condición del pavimento. (Ing Jubo, 2005)

2.2.5. LOS DISEÑOS COMUNES DE PAVIMENTOS NO PROPORCIONAN SUFICIENTE DRENAJE.

Desde el aparecimiento de los pavimentos, su diseño se ha basado principalmente en considerar su densidad y estabilidad, dejando en un espacio relegado el drenaje de la estructura. Esto es debido a que el diseño de los pavimentos se basa en obtener los esfuerzos adecuados en la subrasante y en las capas de la estructura: base, sub base y capa de rodadura.

La mayoría de los pavimentos que se construyeron en épocas anteriores, disponen de drenajes con una velocidad muy pequeña, lo que hace que estos contengan aguas libres durante periodos de tiempo considerables. Al pasar del tiempo, gracias a las innumerables investigaciones que se han realizado, y por los daños que sufrían los pavimentos antiguos en un periodo de tiempo muy corto, se han dado soluciones comunes a estos problemas, dentro de estas soluciones esta aumentar el espesor de las capas estructurales, incrementar los porcentajes de los diversos estabilizantes, con la intención de mejorar el diseño.

2.2.6. FACTORES BÁSICOS.

Los pavimentos tienen grandes superficies expuestas a condiciones ambientales, lluvia y tráfico, los cuales producen grandes daños. Cuando el contenido de agua en los materiales que componen la base y subbase

aumenta, este aumento produce una disminución en la capacidad portante de estos y un incremento en la tasa de pérdida de serviciabilidad de la estructura y del pavimento. Cuando el agua ha saturado completamente las capas y ha llenado los vacíos, espacios o las aperturas existentes entre los límites de las capas, las grandes cargas que son aplicadas por los neumáticos de los vehículos en su trayecto en la capa de rodadura, produce impactos en el agua que pueden ser comparados a los impactos que produce un martillo de agua.

Las presiones que son producidas por la acción constante de las ruedas, pueden acumular su efecto dañino no solo con la erosión y expulsión del material, sino también la eliminación por levantamiento del material asfáltico que constituyen las capas estabilizadas.

Los vehículos que circulan sobre la estructura del pavimento, generan presión entre el fondo de la carpeta flexible y la subrasante, lo que hace que se libere agua y fluya en la dirección en la que pueda escapar. La magnitud de la presión va a depender de la deflexión de la carpeta asfáltica y del grado de confinamiento del agua.

Inicialmente el agua va a escapar por las juntas o grietas existentes, pero estos puntos que sirven para liberar la presión del agua no van a ser suficientes, por lo tanto la carpeta tiende a levantarse y posteriormente a destruirse con el paso constante de los vehículos, como se puede observar en la Foto 1.



Foto 1: Pavimento deteriorado por presencia de agua.

Las juntas y grietas sin sellar en un pavimento flexible van a permitir que el agua se infiltre en la estructura del pavimento y se acumule debajo la capa de rodadura y en la base granular.

Debido a la presencia de agua en las vías, se debe considerar en el diseño estructural de la misma, la construcción de drenes o cunetas filtrantes que permitan evacuar el exceso de agua, por eso el objetivo de las cunetas a demás de mejorar la seguridad vial, es la de controlar calidad y cantidad de agua, además tiene un efecto positivo en el control de la erosión tratando de evitar la migración de finos.

2.3 ALCANCE

A lo largo de la vida útil para la que es diseñado un pavimento con la finalidad de proporcionar un servicio adecuado a los usuarios, sobre este irán apareciendo múltiples grados de deterioro debido a la aparición de fallas

de diferente tipo, tamaño y forma, producidas por varias causas, considerando principalmente las ocasionadas por la acción del paso de los vehículos y las condiciones meteorológicas, por tal motivo se hace necesario ejecutar trabajos de mantenimiento en esta estructura con la finalidad de preservar en buen estado la capa de rodadura como la capacidad estructural para el que fue diseñado. La técnica que se vaya a emplear para ejecutar el mantenimiento del pavimento que se constituirá en los trabajos a realizar y momento para su ejecución, es una parte esencial del diseño del mismo, que en ningún caso debe ser obviado.

Con lo expuesto anteriormente podríamos definir al mantenimiento de pavimentos como el conjunto de actividades adecuadas y oportunas destinadas a preservar, reparar y restaurar una vía y conservarla en condiciones de adecuadas de uso seguro, conveniente y económico.

El mantenimiento que se proporciona a un pavimento está diseñado para subsanar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños producidos por el paso de vehículos, así como al deterioro debido a los efectos de envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño, es decir, el mantenimiento está destinado a corregir fallas funcionales y estructurales del pavimento. Es indispensable conocer cuando se trata de una falla funcional o estructural, ya que dependiendo del tipo de falla, dependerá el tipo de mantenimiento que se proporcionara a la vía.

- *Falla Funcional.*- Es aquella falla que afecta directamente al usuario, debido a la aparición de ahuellamientos, mala textura, asentamientos, hundimientos, etc.
- *Falla Estructural.*- Es aquella falla que afecta a la capacidad del pavimento para soportar cargas, dentro de estas fallas podemos tener por ejemplo: desintegraciones, inadecuado espesor.

Con base a los ensayos de laboratorio como humedad, límite líquido y plástico, granulometría, clasificación de suelos, compactación, CBR, actividades que se desarrollan durante el presente trabajo, se presentara la propuesta de mejoramiento del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, que optimice los recursos económicos presupuestados y que satisfaga a plenitud las necesidades del tránsito vehicular.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ESTUDIO DE TRÁFICO

Para realizar este estudio, primero debemos definir que es tránsito vehicular, el mismo que se puede definir como la cantidad de vehículos de cualquier tipo con su respectiva carga que utilizan una carretera.

La Ingeniería de Tránsito nos permitirá determinar las condiciones actuales de la vía en estudio y determinar sus falencias, las mismas que causan malestar a los usuarios.

Al realizar este estudio, se tendrán pautas que nos permitirán realizar un análisis de los daños que influyen negativamente en el servicio que está prestando actualmente la vía del Campus de la Universidad, y de esta manera permitirá dar conclusiones importantes para la toma de decisiones por parte de las autoridades de la Institución encaminadas a realizar la inversión necesaria para el mejoramiento de mencionado servicio.

Para la evaluación de los factores de tráfico de esta investigación, se realizó un estudio de volumen de tránsito mediante métodos de aforos. El método utilizado es el método manual, el cual consiste en obtener datos de volúmenes de tránsito mediante conteos vehiculares realizados por personas en campo, es decir en la vía de estudio.

El aforo se lo realizo considerando un periodo de una semana o siete días continuos, los días considerados para efectuar el aforo fueron los comprendidos entre el 20 y 26 de Abril del 2013, considerando las horas de mayor circulación vehicular que se considera entre las 06:00 horas hasta las 22:30 horas. El conteo se realizó en la entrada a la Universidad ubicada en la parte posterior del Campus.



Foto 2: Ingreso posterior de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ex Escuela Politécnica del Ejército. (CAPT Ochoa P, 2013)

Los resultados obteniendo se expresan en las siguientes tablas:

Tabla 1: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, sábado 20 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	7	7			
6:30			14:30		
7:00	24	89	15:00	6	37
7:00			15:00	31	
7:30	65		15:30		
7:30			15:30	15	
8:00	71	268	16:00		30
8:00			16:00	15	
8:30	197		16:30		
8:30			16:30	3	
9:00	3	33	17:00		21
9:00			17:00	18	
9:30	30		17:30		
9:30			15:30	10	
10:00	8	34	16:00		18
10:00			16:00	8	
10:30	26		16:30		
10:30			18:30	1	
11:00	7	38	19:00		8
11:00			19:00	7	
11:30	31		19:30		
11:30			19:30	2	
12:00	1	30	20:00		6
12:00			20:00	4	
12:30	29		20:30		
12:30			20:30	1	
13:00	17	39	21:00		1
13:00			21:00	0	
13:30	22		21:30		
13:30			21:30	0	
14:00	17	57	22:00		0
14:00			22:00	0	
14:30	40		22:30		
TOTAL	595	595	TOTAL	121	121

TOTAL VEHÍCULOS: 716

Tabla 2: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, domingo 21 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	3	3			
6:30			14:30		
7:00	36	182	15:00	20	27
7:00			15:00	7	
7:30	146		15:30		
7:30			15:30	1	
8:00	78	144	16:00		10
8:00			16:00	9	
8:30	66		16:30		
8:30			16:30	7	
9:00	15	36	17:00		25
9:00			17:00	18	
9:30	21		17:30		
9:30			17:30	7	
10:00	24	32	18:00		29
10:00			18:00	22	
10:30	8		18:30		
10:30			18:30	2	
11:00	16	20	19:00		6
11:00			19:00	4	
11:30	4		19:30		
11:30			19:30	1	
12:00	13	31	20:00		5
12:00			20:00	4	
12:30	18		20:30		
12:30			20:30	5	
13:00	19	40	21:00		8
13:00			21:00	3	
13:30	21		21:30		
13:30			21:30	0	
14:00	10	84	22:00		0
14:00			22:00	0	
14:30	74		22:30		
TOTAL	572	572	TOTAL	110	110

TOTAL VEHÍCULOS: 682

Tabla 3: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, lunes 22 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	37	37			
6:30			14:30		
7:00	199		15:00	62	
7:00		550	15:00		174
7:30	351		15:30	112	
7:30			15:30		
8:00	42		16:00	28	
8:00		124	16:00		107
8:30	82		16:30	79	
8:30			16:30		
9:00	32		17:00	23	
9:00		163	17:00		164
9:30	131		17:30	141	
9:30			17:30		
10:00	23		18:00	18	
10:00		78	18:00		77
10:30	55		18:30	59	
10:30			18:30		
11:00	26		19:00	0	
11:00		111	19:00		28
11:30	85		19:30	28	
11:30			19:30		
12:00	37		20:00	3	
12:00		83	20:00		21
12:30	46		20:30	18	
12:30			20:30		
13:00	24		21:00	4	
13:00		97	21:00		17
13:30	73		21:30	13	
13:30			21:30		
14:00	38		22:00	1	
14:00		171	22:00		1
14:30	133		22:30	0	
TOTAL	1414	1414	TOTAL	589	589

TOTAL VEHÍCULOS: 2003

Tabla 4: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, martes 23 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	42	42			
6:30			14:30		
7:00	130		15:00	65	
7:00		605	15:00		162
7:30	475		15:30	97	
7:30			15:30		
8:00	32		16:00	26	
8:00		118	16:00		81
8:30	86		16:30	55	
8:30			16:30		
9:00	61		17:00	36	
9:00		162	17:00		158
9:30	101		17:30	122	
9:30			17:30		
10:00	33		18:00	48	
10:00		64	18:00		93
10:30	31		18:30	45	
10:30			18:30		
11:00	34		19:00	3	
11:00		107	19:00		48
11:30	73		19:30	45	
11:30			19:30		
12:00	54		20:00	0	
12:00		149	20:00		23
12:30	95		20:30	23	
12:30			20:30		
13:00	22		21:00	1	
13:00		90	21:00		28
13:30	68		21:30	27	
13:30			21:30		
14:00	31		22:00	0	
14:00		111	22:00		0
14:30	80		22:30	0	
TOTAL	1448	1448	TOTAL	593	593

TOTAL VEHÍCULOS: 2041

Tabla 5: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, miércoles
24 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	79	79			
6:30			14:30		
7:00	149		15:00	56	
7:00		503	15:00		146
7:30	354		15:30	90	
7:30			15:30		
8:00	43		16:00	35	
8:00		119	16:00		76
8:30	76		16:30	41	
8:30			16:30		
9:00	40		17:00	60	
9:00		123	17:00		156
9:30	83		17:30	96	
9:30			17:30		
10:00	66		18:00	20	
10:00		105	18:00		90
10:30	39		18:30	70	
10:30			18:30		
11:00	33		19:00	2	
11:00		98	19:00		37
11:30	65		19:30	35	
11:30			19:30		
12:00	29		20:00	0	
12:00		95	20:00		14
12:30	66		20:30	14	
12:30			20:30		
13:00	39		21:00	0	
13:00		96	21:00		42
13:30	57		21:30	42	
13:30			21:30		
14:00	32		22:00	0	
14:00		133	22:00		0
14:30	101		22:30	0	
TOTAL	1351	1351	TOTAL	561	561

TOTAL VEHÍCULOS: 1912

Tabla 6: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, jueves 25 de abril del 2013.

HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	47	47			
6:30			14:30		
7:00	174		15:00	57	
7:00		505	15:00		135
7:30	331		15:30	78	
7:30			15:30		
8:00	41		16:00	37	
8:00		98	16:00		107
8:30	57		16:30	70	
8:30			16:30		
9:00	37		17:00	59	
9:00		170	17:00		155
9:30	133		17:30	96	
9:30			17:30		
10:00	34		18:00	39	
10:00		64	18:00		79
10:30	30		18:30	40	
10:30			18:30		
11:00	63		19:00	15	
11:00		124	19:00		27
11:30	61		19:30	12	
11:30			19:30		
12:00	77		20:00	14	
12:00		176	20:00		21
12:30	99		20:30	7	
12:30			20:30		
13:00	48		21:00	12	
13:00		116	21:00		18
13:30	68		21:30	6	
13:30			21:30		
14:00	21		22:00	1	
14:00		167	22:00		1
14:30	146		22:30	0	
TOTAL	1467	1467	TOTAL	543	543

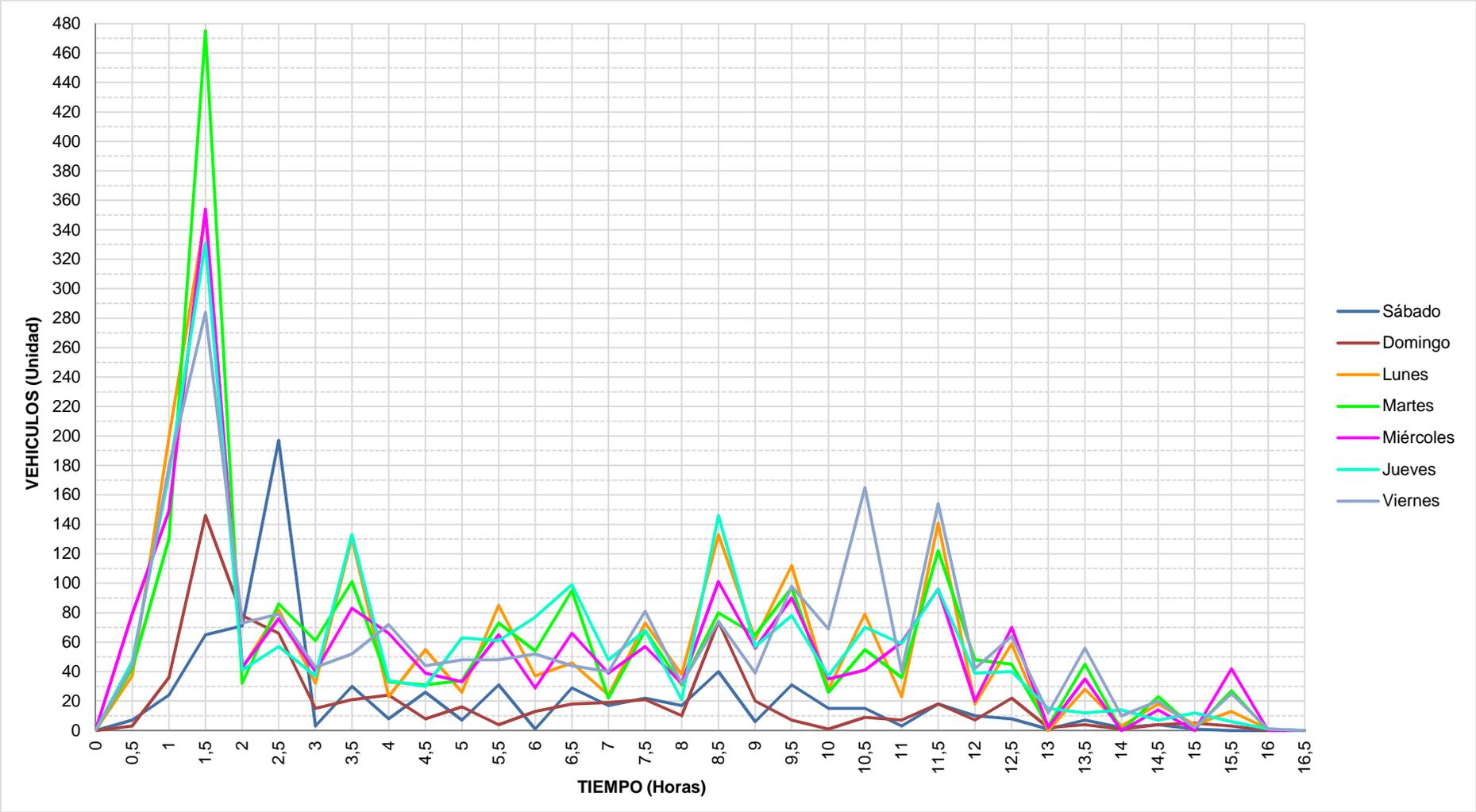
TOTAL VEHÍCULOS: 2010

Tabla 7: Volúmen de vehículos livianos, camiones 1 eje y buses, viernes 26 de abril del 2013.

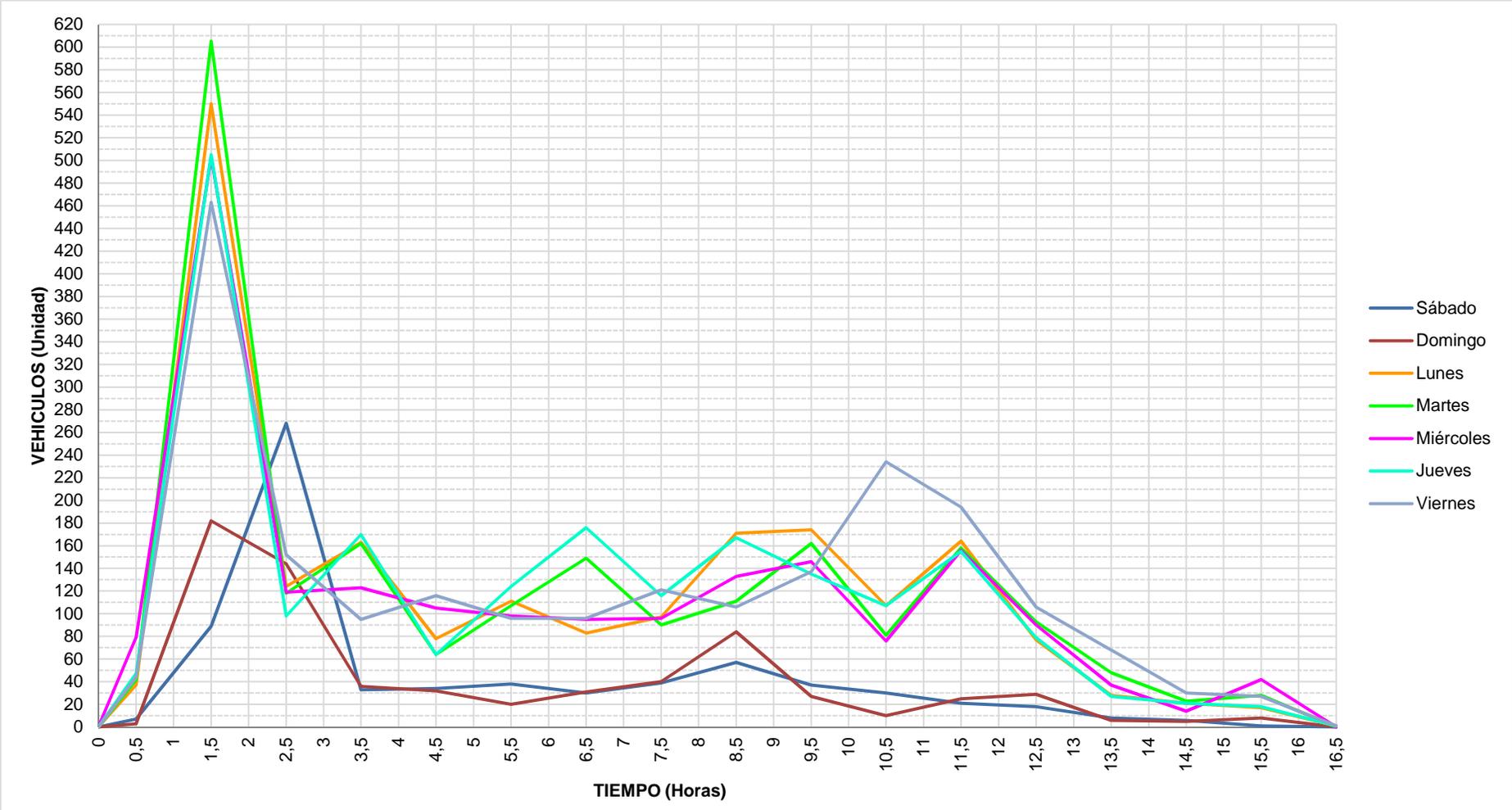
HORA	0:30	1:00	HORA	0:30	1:00
6:00					
6:30	44	44			
6:30			14:30		
7:00	179		15:00	39	
7:00		463	15:00		137
7:30	284		15:30	98	
7:30			15:30		
8:00	73		16:00	69	
8:00		152	16:00		234
8:30	79		16:30	165	
8:30			16:30		
9:00	43		17:00	40	
9:00		95	17:00		194
9:30	52		17:30	154	
9:30			17:30		
10:00	72		18:00	42	
10:00		116	18:00		106
10:30	44		18:30	64	
10:30			18:30		
11:00	48		19:00	12	
11:00		96	19:00		68
11:30	48		19:30	56	
11:30			19:30		
12:00	52		20:00	10	
12:00		96	20:00		30
12:30	44		20:30	20	
12:30			20:30		
13:00	40		21:00	2	
13:00		121	21:00		27
13:30	81		21:30	25	
13:30			21:30		
14:00	32		22:00	1	
14:00		106	22:00		1
14:30	74		22:30	0	
TOTAL	1289	1289	TOTAL	797	797

TOTAL VEHÍCULOS: 2086

Cuadro 1: Volúmen de vehículos cada 30 minutos



Cuadro 2: Volúmen de vehículos cada 1 hora.



Según Rafael Cal y Mayor R, en su libro de Ingeniería de Tránsito en la octava edición del año 2007, definen *Volúmen de Tránsito*, *Volúmen de Tránsito Absolutos o Totales* y *Volúmen de Tránsito Promedio Diarios*, que utilizaremos como libro guía para lo que estudiaremos a continuación: (Cal & Mayor, 2007)

3.1.1. VOLÚMEN DE TRÁNSITO.

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto determinado de la vía elegido para estudio, durante un periodo determinado de tiempo.

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

- Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo).
- N = número total de vehículos que pasan (vehículos).
- T = período determinado (unidades de tiempo).

Los volúmenes de tránsito deben ser considerados dinámicos, ya que son precisos únicamente para el periodo que dura el aforo, sin embargo debido a sus variaciones son generalmente repetitivos.

3.1.2. VOLUMEN DE TRÁNSITO ABSOLUTOS O TOTALES.

3.1.2.1. TRÁNSITO HORARIO (TH).

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora, en este caso $T = 1$ hora. Se expresa en *veh / hora*.

3.1.2.2. TRÁNSITO DIARIO (TD)

Es considerado el número total de vehículos que pasan durante un día por un punto establecido de la vía, en este caso el período será $T = 1$ día. Se expresa en *veh / día*.

3.1.2.3. TRÁNSITO SEMANAL (TS).

Es considerado el número total de vehículos que pasan durante una semana por un punto establecido de la vía, en este caso el período se considera $T = 1$ semana. Se expresa en *veh / semana*.

3.1.2.4. TRÁNSITO MENSUAL (TM).

Es considerado el número total de vehículos que pasan durante un mes por un punto establecido de la vía, en este caso el período será $T = 1$ mes. Se expresa en *veh / semana*.

3.1.2.5. TRÁNSITO ANUAL (TA).

Es considerado el número total de vehículos que pasan durante un año por un punto establecido de la vía, en este caso el período será $T = 1$ año. Se expresa en veh / año.

3.1.2.6. TRÁNSITO EN UN PERIODO INFERIOR A UNA HORA (Qi).

Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora, en este caso $T < 1$ hora y donde i , representa al período en minutos.

3.1.3. VOLÚMEN DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIOS.

Se define al volúmen de tránsito promedio diarios (TPD), como el número total de vehículos que pasan por un punto o lugar establecido para realizar el aforo (conteo de vehículos), durante un período de tiempo establecido (en días completos) que es igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período, se expresa:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} > T > 1 \text{ año}}$$

Donde:

- N = Número de vehículos que pasan durante T días.
- T = Número de días.

De la expresión anterior se desprenden unas constantes que tienen una gran importancia en estudios y proyectos, estos son los volúmenes de tránsito promedio diario, los que se detallan a continuación:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA)
- Tránsito promedio diario mensual (TPDM)
- Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

Estos volúmenes son expresados en *vehículos por día (veh/día)*

3.1.3.1. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto de una carretera en un periodo de un año. Esta expresado en *vehículos / día*.

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

Donde:

- TA = Tránsito Anual.

3.1.3.2. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO MENSUAL (TPDM)

Se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto de una carretera en un periodo de un mes. Esta expresado en *vehículos / día*.

$$TPDM = \frac{TM}{28, 29, 30 \text{ o } 31 \text{ días}}$$

Donde:

- TM = Tránsito Mensual.

3.1.3.3. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)

Se define como el volúmen total de vehículos que pasan por un punto de una carretera en un periodo de una semana. Esta expresado en *vehículos / día*.

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

Donde:

- TS = Tránsito Semanal.

3.1.4. TRÁNSITO FUTURO (TF)

Para realizar este análisis nos basaremos en la información del Manual para la revisión de Estudios de Tránsito del MTI de Nicaragua, publicado en el año 2005. El cálculo de este tráfico está basado en una tasa de

crecimiento anual, número de años proyectados y en el tráfico que transita actualmente sobre una vía, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$TF = TA(1 + i)^n$$

Donde:

- TA = Tráfico actual o en el año de estudio.
- i = tasa de crecimiento
- n = número de años proyectados o año para el cual se calcula el volumen de tráfico.

3.1.5. CÁLCULO DE LOS VOLUMEN DE TRÁNSITO ABSOLUTOS O TOTALES.

3.1.5.1. TRÁNSITO HORARIO (TH).

Esta determinado en las tablas desde la 3.1 a la 3.7.

3.1.5.2. TRÁNSITO DIARIO (TD).

Este volumen de tránsito lo determinamos directamente del aforo realizado en el ingreso al anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por cada uno de los días. Así tenemos la siguiente tabla:

Tabla 8: Tránsito Diario (TD).

Sábado	Domingo	Lunes	Martes
716 veh/día	682 veh/día	2003 veh/día	2041 veh/día
Miércoles	Jueves	Viernes	
1912 veh/día	2010 veh/día	2086 veh/día	

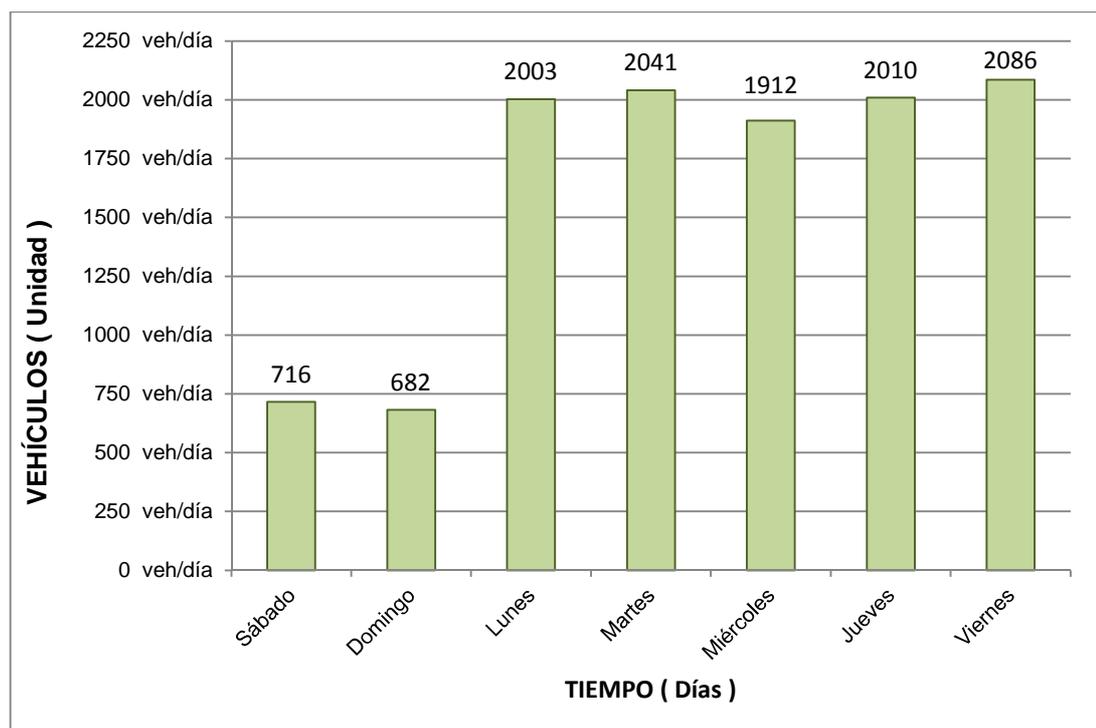
3.1.5.3. TRÁNSITO SEMANAL (TS).

Se determina mediante la suma de cada uno de los datos de Tránsito Diario de la semana que se detalla en la tabla 3.8., así tendremos:

$$TS = 716 + 682 + 2003 + 2041 + 1912 + 2010 + 2086$$

$$TS = 11.450 \text{ veh / semana}$$

Cuadro 3: Volúmen de vehículos en una semana.



3.1.5.4. TRÁNSITO MENSUAL (TM).

Se determina el tránsito para cada uno de los meses del año 2013, basándonos en el aforo realizado en una semana, para lo cual nos vamos a guiar en cuantos días sábados, domingos, lunes, martes, miércoles, jueves y viernes tiene respectivamente cada mes del año.

Para obtener el Tránsito Mensual (TM), vamos a realizar una multiplicación entre el Tránsito Diario (TD) y el número de días respectivamente según corresponda, posteriormente realizamos la suma de cada uno de los resultados obtenidos y de esta manera obtendremos el Tránsito Mensual (TM). Así se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 9: Tránsito Mensual (TM).

MES	Sáb.	Dom.	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Días	TM
ENE	4	4	4	5	5	5	4	31	51.763
FEB	4	4	4	4	4	4	4	28	45.800
MAR	5	5	4	4	4	4	5	31	49.284
ABR	4	4	5	5	4	4	4	30	49.844
MAY	4	4	4	4	5	5	5	31	51.808
JUN	5	5	4	4	4	4	4	30	47.198
JUL	4	4	5	5	5	4	4	31	51.756
AGO	5	4	4	4	4	5	5	31	50.612
SEP	4	5	5	4	4	4	4	30	48.485
OCT	4	4	4	5	5	5	4	31	51.763
NOV	5	4	4	4	4	4	5	30	48.602
DIC	4	5	5	5	4	4	4	31	50.526

3.1.5.5. TRÁNSITO ANUAL O ACTUAL (TA)

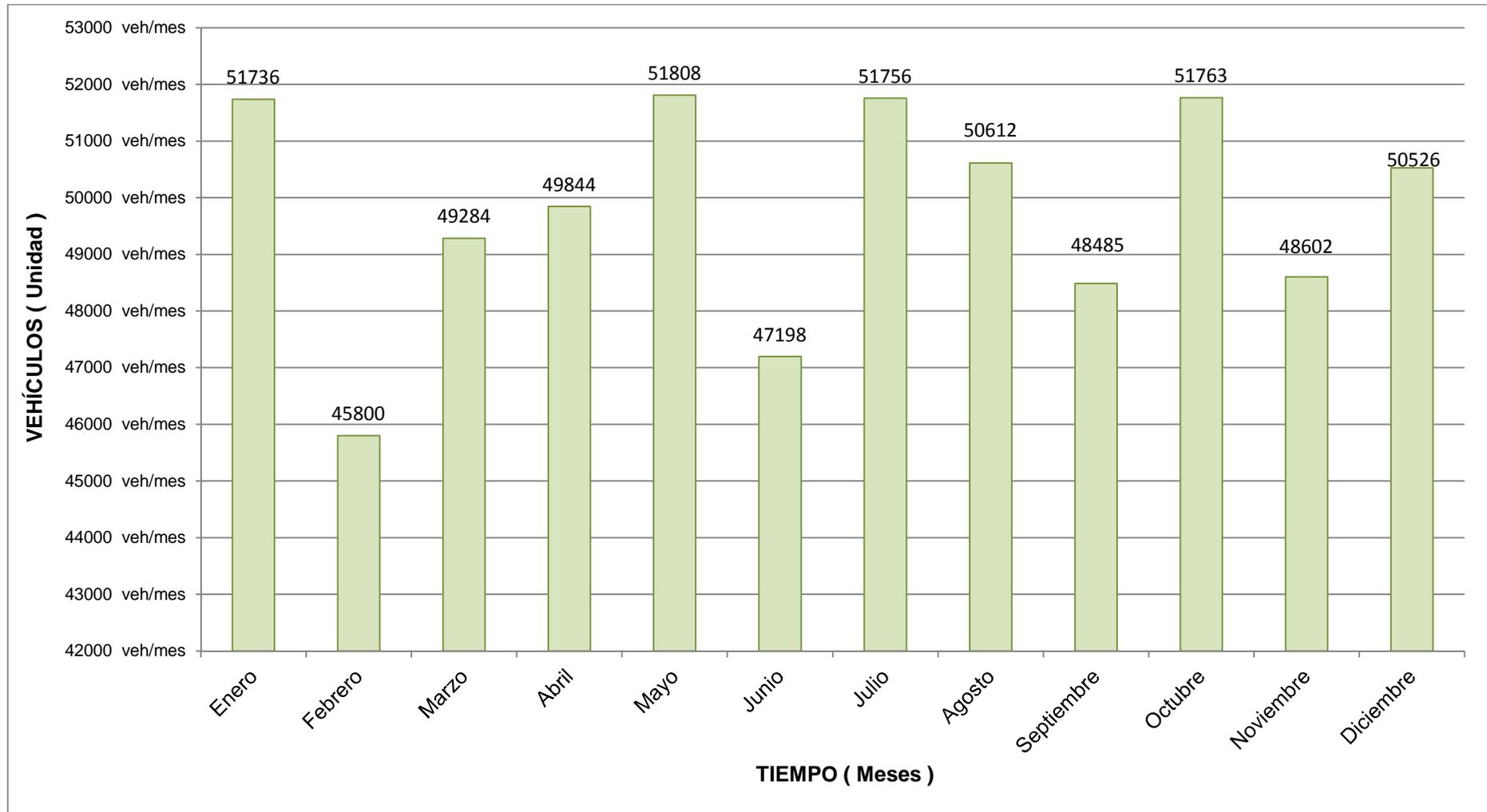
Lo determinamos sumando cada uno de los datos de Tránsito Mensual (TM) de los 12 meses del año que se encuentran detallados en la tabla 3.9.

Así tendremos:

$$TA = 51763 + 45800 + 49284 + 49844 + 51808 + 47198 + 51756 + 50612 \\ + 48485 + 51763 + 48602 + 50526$$

$$TA = 597.441 \text{ veh /año}$$

Cuadro 4: Tránsito mensual (TM).



3.1.5.6. TRÁNSITO EN UN PERIODO INFERIOR A UNA HORA (Q_i)

Se lo determina con el volúmen de tránsito que existe en una hora por el período i de tiempo menor a una hora, en fracción de hora.

$$Q_i = \text{Volúmen de Tránsito(veh/hora)} * i(\text{fracción de hora})$$

Por ejemplo: si se desea encontrar Q_{15} , y se tiene que Volúmen de tránsito = 148 veh/hora, se tendrá:

$$Q_{15} = 148 \frac{\text{veh}}{\text{hora}} * \frac{1}{4} \text{ hora}$$

$$\frac{1}{4} \text{ hora} = 15 \text{ min}$$

$$Q_{15} = \frac{148}{4}$$

$$Q_{15} = 37 \text{ veh}/15\text{min}$$

3.1.6. CÁLCULO DE LOS VOLUMENES DE TRÁNSITO PROMEDIOS DIARIOS.

3.1.6.1. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).

Del cálculo realizado en el numeral 3.1.5.5, tenemos:

$$TA = 597.441 \text{ veh/año}$$

Entonces:

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

$$TPDA = \frac{597.441 \frac{\text{veh}}{\text{año}}}{365 \text{ días}}$$

$$TPDA = 597.441 \frac{\text{veh}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 1.636,82$$

$$TPDA = 1.637 \text{ veh/día}$$

3.1.6.2. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO MENSUAL (TPDM).

Basándonos en los datos obtenidos en el numeral 3.1.5.4, consideramos el valor del TM para el mes de abril, ya que el aforo lo realizamos en la última semana de este mes, tenemos:

$$TM = 49.844 \text{ veh / mes.}$$

Entonces:

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

$$TPDM = \frac{49.844 \text{ veh/mes}}{30 \text{ días}}$$

$$TPDM = 49.844 \frac{\text{veh}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 1.661,47$$

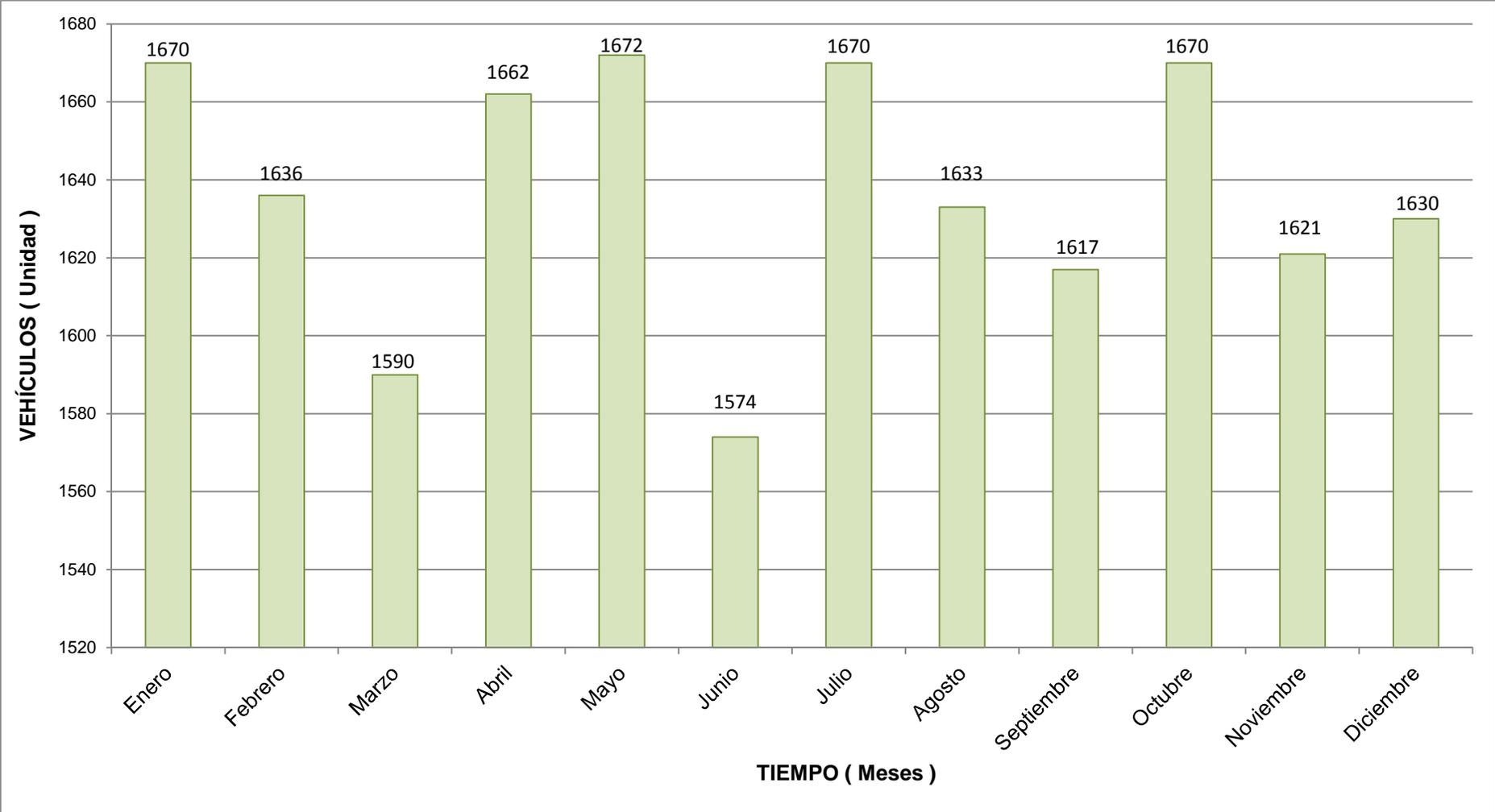
$$TPDM = 1.662 \text{ veh/día}$$

Este cálculo se lo debe realizar para cada uno de los meses del año. En la siguiente tabla se indica el valor del TPDM de cada mes del año obtenido luego del respectivo cálculo.

Tabla 10: Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM).

MES	TM	Días	TPDM	TPDM
ENERO	51.763	31	1669,77	1670
FEBRERO	45.800	28	1635,71	1636
MARZO	49.284	31	1589,81	1590
ABRIL	49.844	30	1661,47	1662
MAYO	51.808	31	1671,23	1672
JUNIO	47.198	30	1573,27	1574
JULIO	51.756	31	1669,55	1670
AGOSTO	50.612	31	1632,65	1633
SEPTIEMBRE	48.485	30	1616,17	1617
OCTUBRE	51.763	31	1669,77	1670
NOVIEMBRE	48.602	30	1620,07	1621
DICIEMBRE	50.526	31	1629,87	1630

Cuadro 5: Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM).



3.1.6.3. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS).

Del cálculo realizado en el numeral 3.1.5.3, tenemos:

$$TS = 11.450 \text{ veh /semana}$$

Entonces:

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

$$TPDS = \frac{11.450 \text{ veh/semana}}{7 \text{ días}} = 11.450 \frac{\text{veh}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}}$$

$$TPDS = 1.635,71 \text{ veh/día}$$

$$TPDS = 1.636 \text{ veh/día}$$

3.1.7. CÁLCULO DE TRÁNSITO FUTURO.

Para este cálculo tenemos:

$$TF = TA(1 + i)^n$$

Basándonos en la ecuación anterior, el antiguo MOP y actual MTOP, ha realizado estudios desde 1963 para determinar la tasa de crecimiento (i), es así que se ha determinado para todo el Ecuador que la tasa de crecimiento

varía entre el 5% y 7%, y se considera en una proyección de tránsito a 15 o 20 años.

Para este estudio consideraremos:

- $i = 7\% = 0,07$
- $n = 15$ años

Del cálculo realizado en el numeral 3.1.5.5, tenemos:

$$TA = 597.441 \text{ veh / año}$$

Entonces:

$$TF = TA(1 + i)^n$$

$$TF = 597.441(1 + 0,07)^{15} = 1.648.358,56$$

$$TF = 1.648.359 \text{ veh / año}$$

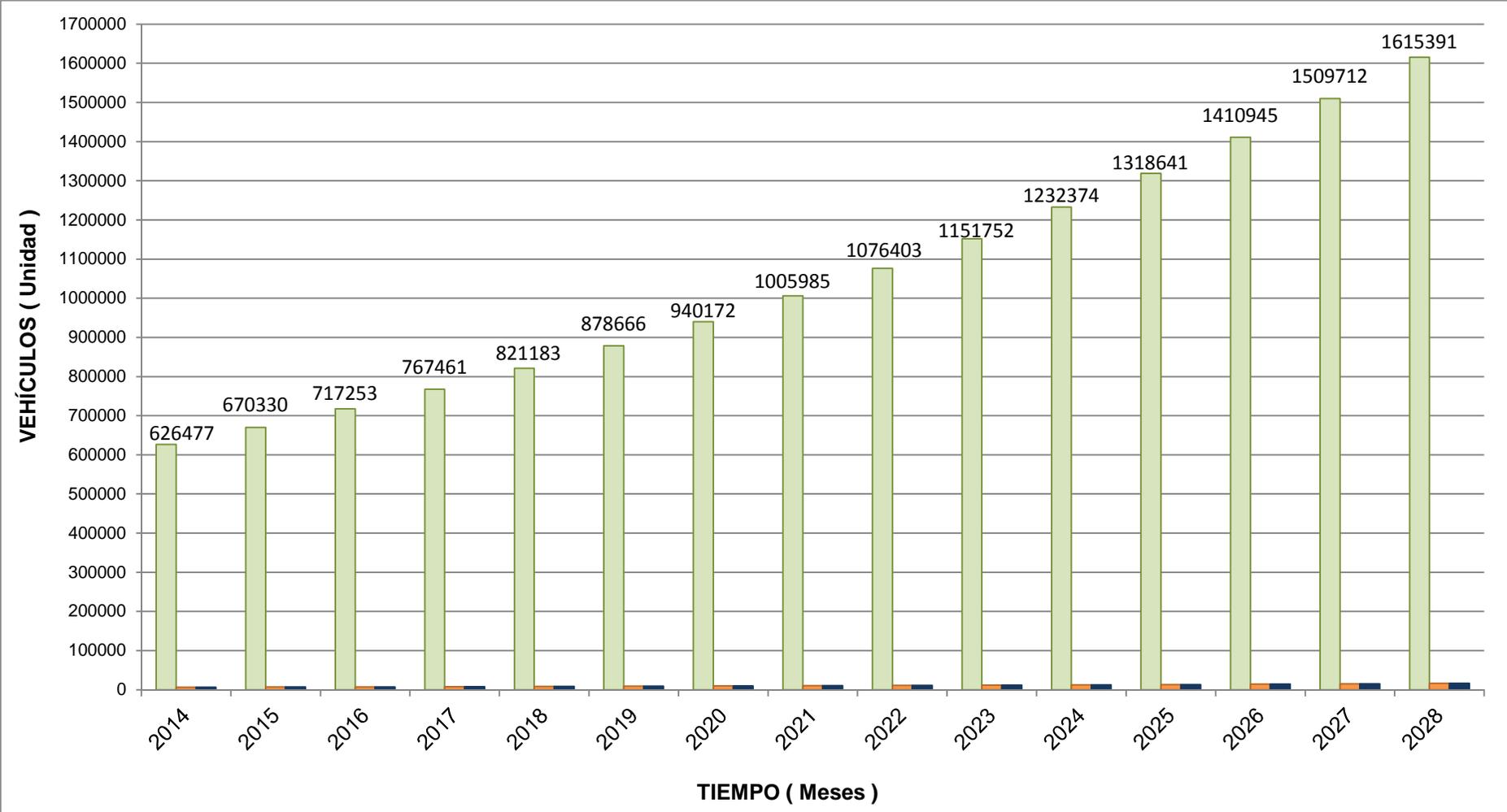
Este cálculo lo podemos también hacer calculando el incremento del 7% para cada año, como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 11: Tránsito Futuro (TF).

AÑO	LIVIANOS	CAMIONES 1 EJE	BUSES	TOTAL
2013	585.492,18	5.974,41	5.974,41	597.441,00
2014	626.476,63	6.392,62	6.392,62	639.261,87
2015	670.330,00	6.840,10	6.840,10	684.010,20
2016	717.253,10	7.318,91	7.318,91	731.890,91
2017	767.460,81	7.831,23	7.831,23	783.123,28
2018	821.183,07	8.379,42	8.379,42	837.941,91
2019	878.665,89	8.965,98	8.965,98	896.597,84
2020	940.172,50	9.593,60	9.593,60	959.359,69
2021	1.005.984,57	10.265,15	10.265,15	1.026.514,87
2022	1.076.403,49	10.983,71	10.983,71	1.098.370,91
2023	1.151.751,74	11.752,57	11.752,57	1.175.256,87
2024	1.232.374,36	12.575,25	12.575,25	1.257.524,86
2025	1.318.640,56	13.455,52	13.455,52	1.345.551,60
2026	1.410.945,40	14.397,40	14.397,40	1.439.740,21
2027	1.509.711,58	15.405,22	15.405,22	1.540.522,02
2028	1.615.391,39	16.483,59	16.483,59	1.648.358,56

Con este dato, se puede además determinar el TPDA futuro.

Cuadro 6: Tránsito Futuro (TF).



3.1.7.1. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL FUTURO (TPDAF).

Este cálculo lo podemos realizar de dos formas.

- *Forma 1.*

Del numeral 3.1.6.1, se tiene:

$$TPDA = 1.637 \text{ veh/día}$$

Utilizamos la ecuación del Tráfico Futuro (TF), cambiando el TA por TPDA, así tenemos:

$$TPDAF = TPDA(1 + i)^n$$

$$TPDAF = 1637(1 + 7\%)^{15} = 4.516,53$$

$$TPDAF = 4.516 \text{ veh/día}$$

- *Forma 2.*

Del numeral 3.2.7, tenemos:

$$TF = 1.648.359 \text{ veh / año}$$

Utilizamos la ecuación de TPDA, cambiando TA por TF, tenemos:

$$TPDAF = \frac{TF}{365}$$

$$TPDAF = \frac{1.648.359 \text{ veh/año}}{365 \text{ días}} = 1.648.359 \frac{\text{veh}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$TPDAF = 4.516.05 \text{ veh/día}$$

$$TPDA = 4.516 \text{ veh/día (Cal \& Mayor, 2007)}$$

3.2 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Es la inspección superficial que se realiza en una carretera para determinar los deterioros o daños que sufren los pavimentos, deterioros que afectan al usuario en su confort y que incidirá en la calidad y seguridad del viaje, pero que no afectan la capacidad estructural del pavimento.

La regularidad o rugosidad de la carpeta asfáltica es la característica de mayor importancia en esta evaluación, pero se deben considerar además otras características como la textura, fricción superficial y fisuras.

- *Regularidad o Rugosidad.*- es la más experimentada por parte del usuario, ya que afecta la calidad de rodadura por la aparición de vibraciones que pueden ocasionar daños en los vehículos.

- *Textura.*- Es un parámetro crítico en la comodidad y seguridad de los usuarios y muy necesaria para el mantenimiento de carreteras, influye de manera directa en la capacidad del pavimento para evacuar el agua, que es de vital importancia para la adherencia adecuada entre la rueda y la capa de rodadura.
- *Fricción Superficial.*- Es la fuerza que se desarrolla entre la *rueda* y el *pavimento*, es la que proporciona la resistencia al deslizamiento cuando se realiza el frenado.
- *Fisuras.*- La aparición de fisuras es el primer aviso de que la carretera o vía se encuentra con problemas, que pueden ser ocasionados por no considerar drenajes adecuados, por las condiciones climáticas o porque las cargas de tráfico han sobrepasado los límites de resistencia del pavimento. Además indica al ingeniero que los costos de conservación de esta estructura serán mayores si no se realiza el mantenimiento adecuado en el tiempo indicado.

Existen diferentes indicadores que nos permitirán establecer el estado de la superficie de la vía. Para el desarrollo de este trabajo determinaremos el estado superficial del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, mediante una evaluación visual, basándome en el *DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL* del U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA), de publicación N° FHWA-RD-03-031 de junio del 2003, considerando el primer contenido del manual "*DISTRESSES FOR PAVEMENTS WITH ASPHALT CONCRETE SURFACE*" que se refiere

a las “*FALLAS O DETERIOROS PARA PAVIMENTOS DE SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO*”. (U.S Department of Transportation, 2003)

3.2.1. EVALUACIÓN VISUAL

La Evaluación Visual de un pavimento se la realiza mediante la observación periódica y continua del mismo, para determinar la naturaleza, tipo y extensión de los daños o fallas que están presentes y que van apareciendo en el pavimento, esta evaluación nos permitirá además determinar el tipo de mantenimiento preventivo adecuado que se debe realizar en la capa de rodadura .

El método a seguir en esta evaluación de los tipos de fallas y daños de la carpeta asfáltica, comprenderá:

- Identificar las fallas.
- Ubicar las fallas en una hoja de evaluación adoptada para el efecto.
- Determinar el grado de severidad y extensión de las fallas.
- Cuantificar la información.

3.2.2. TIPO DE FALLAS O DETERIOROS DEL PAVIMENTO DE SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO.

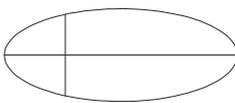
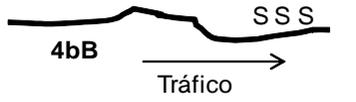
El *DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL*, agrupa las fallas del Pavimento de Concreto Asfáltico (ACP) por categorías y dentro de cada una de estas existen subcategorías, las categorías son:

- Grietas.
- Parches y Baches.
- Deformaciones de la superficie.
- Defectos de la superficie.
- Otras fallas.

Tabla 12: Fallas o Deterioros para Pavimentos de Superficie de Concreto Asfáltico (ACP).

CATEGORÍA.	SUB CATEGORÍA TIPO DE FALLA	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA	NIVEL GRAVEDAD	
Grietas	1.- Fatiga	ACP 1	Número y m ²	SI	
	2.- Bloque	ACP 2	Número y m ²	SI	
	3.- Borde	ACP 3	m	SI	
	4.- Longitudinal	a.- Huella	ACP 4a	Número y m	SI
		b.- No Huella	ACP 4b	Número y m	SI
	5.- Reflexión de Juntas	a.- Longitudinal	ACP 5a	Número y m	SI
b.- Transversal		ACP 5b	Número y m	SI	
	6.- Transversal	ACP 6	Número y m	SI	
Parches y Baches	7.- Deterioro de Parches	ACP 7	Número y m ²	SI	
	8.- Baches	ACP 8	Número y m ²	SI	
Deformaciones de superficie	9.- Ahuellamientos	ACP 9	mm	N / A	
	10.- Corrugaciones	ACP 10	Número y m ²	N / A	
Defectos de Superficie	11.- Sangrado	ACP 11	Número y m ²	N / A	
	12.- Agregado expuesto	ACP 12	Número y m ²	N / A	
	13.- Desgaste de áridos	ACP 13	Número y m ²	N / A	
Otras fallas	14.- Diferencia en línea del espaldón	ACP 14	No medida	N / A	
	15.- Agua sangrado y bombeo	ACP 15	Número y m	N / A	

Tabla 13: Símbolos de las fallas de Pavimentos de Superficie de Concreto Asfáltico (ACP).

CATEGORÍA	CÓDIGO	SÍMBOLO	CATEGORÍA	CÓDIGO	SÍMBOLO
GRIETAS	ACP 1		PARCHES Y BACHES	ACP 7	 7B
	ACP 2			ACP 8	 8M
	ACP 3		DEFORMACIONES DE SUPERFICIE	ACP 9	NO DISPONIBLE
	ACP 4a		ACP 10	 1 0	
	ACP 4b		DEFECTOS DE SUPERFICIE	ACP 11	
	ACP 5a			ACP 12	
	ACP 5b			ACP 13	
	ACP 6		OTRAS FALLAS	ACP 14	NO DISPONIBLE
			ACP 15	 15	

En la tabla 3.12, se establecen los diferentes tipos de fallas o deterioros del pavimento de concreto asfáltico que considera el DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL del U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) en su primer capítulo, detallando sus categorías con sus respectivas sub categorías, con el código que se las identifica y con su respectiva unidad de medida y si se define el nivel de severidad o no en cada una de las fallas.

En la tabla 3.13, se indican los códigos y los símbolos con los que se representan a cada una de las fallas en el DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL del U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA) y que se representaran en la hoja mapa de una sección de pavimento flexible que se indica más adelante en la figura 3.1, cuando se realiza el levantamiento de los deterioros del pavimento.

Para realizar el levantamiento de las fallas o deterioros del pavimento del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ex Escuela Politécnica del Ejército, nos apoyaremos de la *HOJA MAPA DE UNA SECCION DE PAVIMENTO FLEXIBLE*, que se indica en la siguiente figura:

A continuación se definirán los tipos de fallas o deterioros que se encontraron durante el levantamiento en la vía de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

3.2.2.1. FATIGA

a. Descripción

Se produce por fatiga del material en las zonas sometidas a cargas de tráfico repetidas (caminos de ruedas). Pueden ser una serie de grietas interconectadas en la primera etapa y se desarrolla en piezas de muchos lados formando ángulos agudos, por lo general de dimensiones menores a 0,30 metros en el lado más largo. Es conocida también como “Piel de cocodrilo”. Debe tener un área cuantificable. El código para identificar esta falla es “ACP 1”.

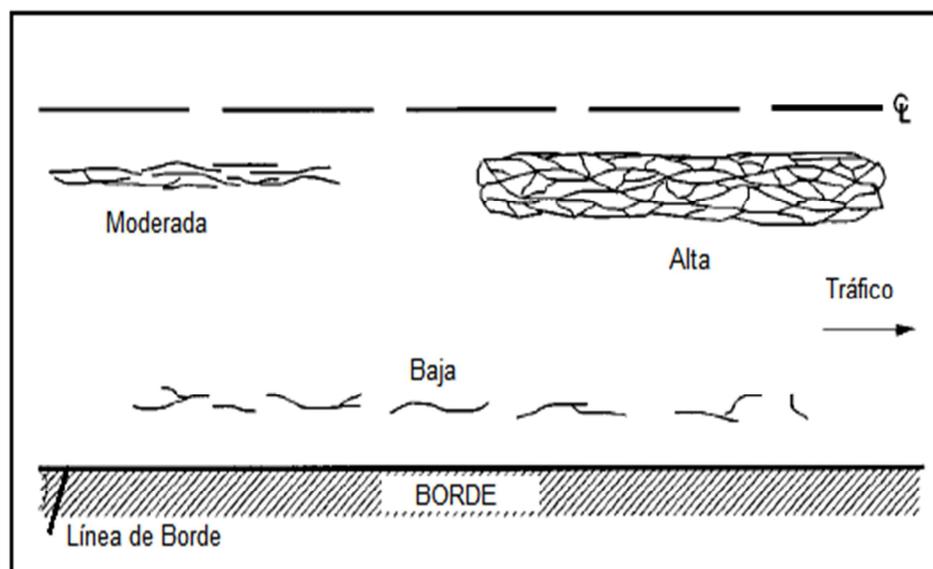


Figura 5: Falla por fatiga, ACP 1.



Foto 3: Patrón típico de Falla por fatiga, ACP1

b. Niveles de gravedad

- Baja (B)

Un área de grietas con ninguna o con solo unas pocas grietas de conexión, las grietas no son astilladas o selladas, el bombeo no es evidente.



Foto 4: Falla por fatiga de baja gravedad, ACP 1B.

- **Moderada (M)**

Un área de fisuras interconectadas formando un patrón completo, las grietas pueden ser ligeramente resquebrajadas o selladas, el bombeo no es evidente.

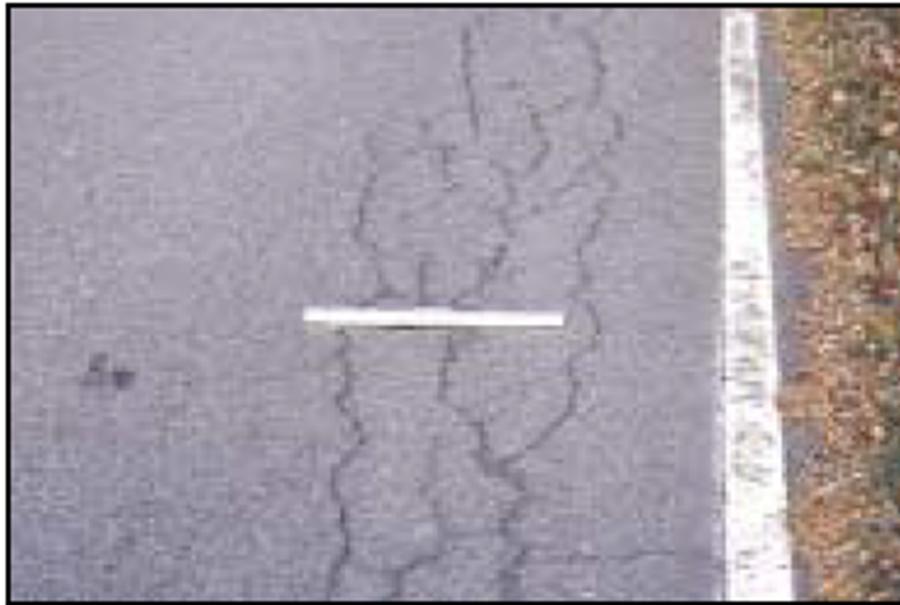


Foto 5: Falla por fatiga moderada gravedad, ACP 1M.

- **Alta (A)**

Un área de moderada o severamente resquebrajada, las fisuras están interconectadas formando un patrón completo, los pedazos pueden moverse cuando están sometidos a tráfico, las grietas pueden ser selladas y el bombeo es evidente.



Foto 6: Falla por fatiga de alta gravedad, ACP 1A.

c. Cómo medir

Registrar la cantidad de fallas y los metros cuadrados (m^2) del área afectada en cada nivel de gravedad, si existen varios niveles de gravedad en un área que no se puede distinguir, el área completa se representara con el nivel de gravedad más alto.

d. Símbolo

Se utiliza ubicando el código y la letra según la severidad de la falla, en cualquier parte del interior de la zona de la vía afectada por esta falla.



Figura 6: Símbolo de Falla por fatiga.

3.2.2.2. BLOQUE

a. Descripción

Esta falla se produce en un modelo de las grietas que divide el pavimento sobre pedazos aproximadamente rectangulares. Bloques rectangulares se extienden en el tamaño que va aproximadamente entre 0.10 m^2 a 10 m^2 . Debe tener un área cuantificable. El código de esta falla es "ACP 2".

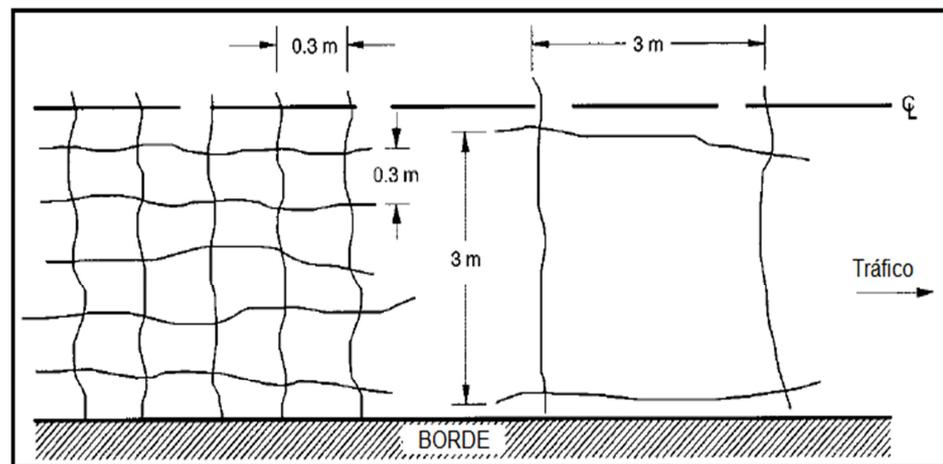


Figura 7: Falla de Bloque, ACP 2.



Foto 7: Falla de Bloque, ACP2.

b. Niveles de gravedad**- Baja (B)**

Una grieta con un ancho $\leq 6\text{mm}$, o una grieta sellada con material sellador en buen estado y con un ancho que no se puede determinar.

- Moderada (M)

Una grieta con un ancho $> 6\text{mm}$ y $\leq 19\text{ mm}$, o cualquier grieta con un ancho $\leq 19\text{ mm}$ y con un agrietamiento adyacente de gravedad baja, se considera una falla de bloque aleatoria.

- Alta (A)

Una grieta con un ancho $> 19\text{ mm}$, o cualquier grieta con un ancho $\leq 19\text{ mm}$ y con un agrietamiento adyacente de gravedad moderada a gravedad alta, se considera una falla de bloque aleatoria.



Foto 8: Falla de bloque de alta gravedad, ACP 2A.

c. Cómo medir

Registrar la cantidad de fallas y los metros cuadrados (m^2) del área afectada en cada nivel de gravedad, si existen varios niveles de gravedad en un área que no se puede distinguir, el área completa se representara con el nivel de gravedad más alto. Si fallas por fatiga existe dentro de la zona de formación de la falla de bloque, la zona de falla de bloque se reduce por el área de falla por fatiga.

d. Símbolo

Se utiliza ubicando la letra según la severidad de la falla y se debe delimitar el área de la falla a lo largo y ancho del sector afectado de la vía. Las letra "S", se coloca en caso de que una de las grietas del contorno de la falla, este sellada con material sellador en buen estado.



Figura 8: Símbolo de Falla de Bloque.

3.2.2.3. LONGITUDINAL

a. Descripción

Grietas predominantemente paralelas a la línea central del pavimento. Están ubicadas dentro del carril de la vía, tanto dentro como fuera de la trayectoria de la rueda. El código de esta falla es “ACP 4”.

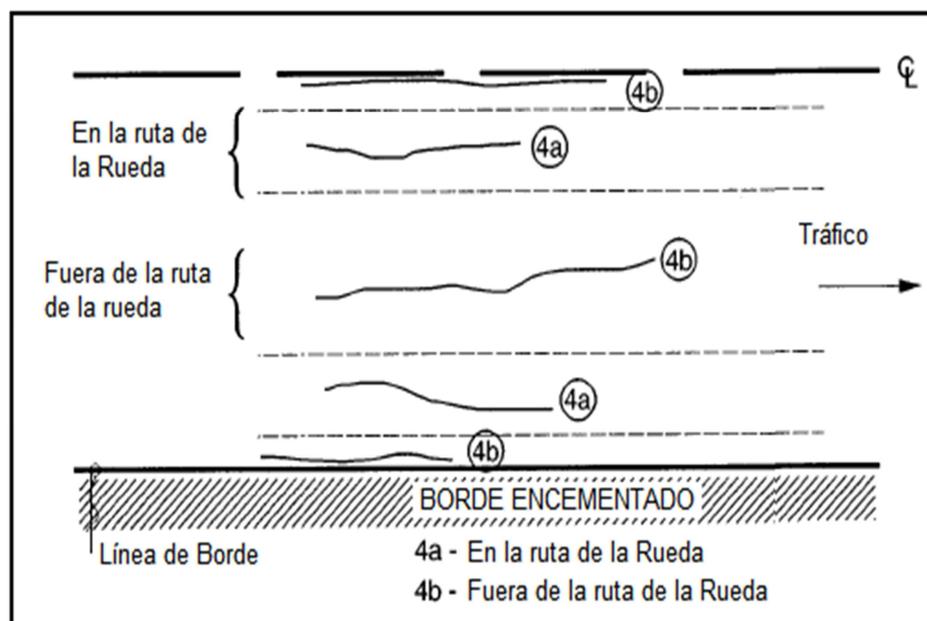


Figura 9: Falla longitudinal, ACP 4.

b. Niveles de gravedad**- Baja (B)**

Una grieta con un ancho $\leq 6\text{mm}$, o una grieta que se encuentre sellada con material sellador en buen estado y con un ancho que no se puede determinar.

- Moderada (M)

Una grieta con un ancho $> 6\text{mm}$ y $\leq 19\text{ mm}$, o cualquier grieta con un ancho $\leq 19\text{ mm}$ y con un agrietamiento adyacente de gravedad baja, se considera un agrietamiento aleatorio.

- Alta (A)

Una grieta con un ancho $> 19\text{ mm}$, o cualquier grieta con un ancho $\leq 19\text{ mm}$ y con un agrietamiento adyacente de gravedad moderada a gravedad alta, se considera un agrietamiento aleatorio.

c. Cómo medir

Anote por separado:

- **Grietas longitudinales en la ruta de la rueda.**

Registrar la cantidad de fallas y la longitud en metros lineales (m) de las grietas longitudinales que se encuentren dentro de la ruta de la rueda, definiendo cada nivel de gravedad.

Registre la longitud en metros (m) de las grietas longitudinales con sellador en buen estado en cada nivel de gravedad.

Nota: cualquier grieta longitudinal que se ha asociado a un agrietamiento aleatorio, está clasificado como agrietamiento por fatiga. Cualquier grieta longitudinal que este dentro de un área cuantificable es considerado como agrietamiento por fatiga. El código de este tipo de falla es “ACP 4a”.



Foto 9: Falla longitudinal, en ruta de rueda, ACP 4a M.

- **Grietas longitudinales fuera de la ruta de la rueda.**

Registrar la cantidad de fallas y la longitud en metros lineales (m) de las grietas longitudinales, que se encuentren fuera de la ruta de la rueda, definiendo cada nivel de gravedad.

Registre la longitud en metros (m) de las grietas longitudinales con sellador en buen estado en cada nivel de gravedad.



Foto 10: Falla Longitudinal, fuera de ruta de rueda, ACP 4b A.

d. Símbolo

Se dibuja la falla ubicando la letra según el tipo y severidad de la falla, sobre o bajo la grieta. La letra “S”, se coloca en caso de que la falla se encuentre sellada con material sellador en buen estado.

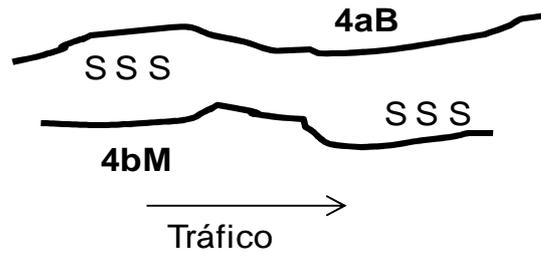


Figura 10: Símbolo de Falla longitudinal fuera (4b) y dentro (4a) de la ruta de la rueda.

3.2.2.4. TRANSVERSAL

a. Descripción

Grietas que son predominantemente perpendiculares al eje central de la vía. Pueden tener además un ángulo de inclinación respecto al eje de la vía. El código de esta falla es “ACP 6”.

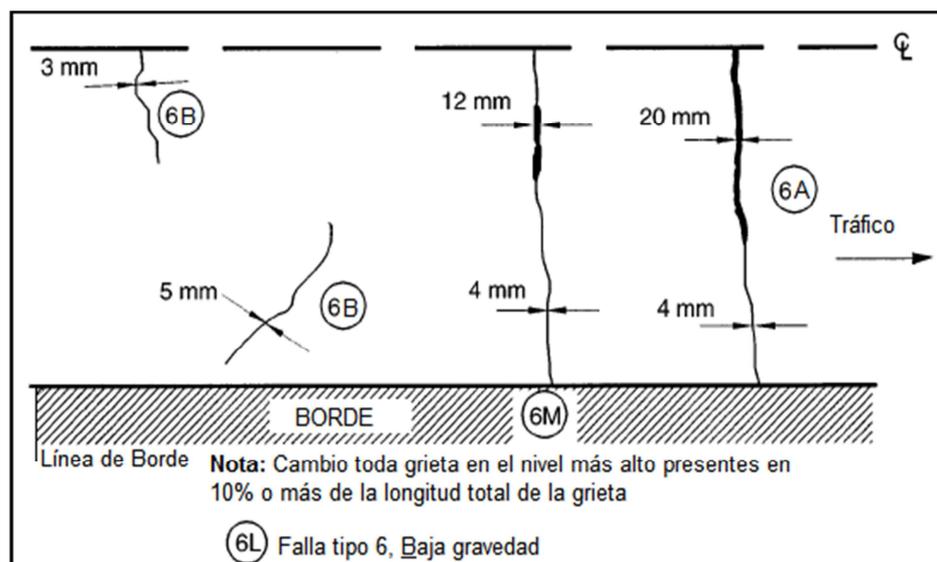


Figura 11: Falla transversal, ACP 6.

b. Niveles de gravedad**- Baja (B)**

Una grieta sin sellar con un ancho media $\leq 6\text{mm}$, o una grieta sellada con material sellador en buen estado y con un ancho que no se puede determinar.



Foto 11: Falla transversal de baja gravedad, ACP 6B.

- Moderada (M)

Una grieta con un ancho $> 6\text{mm}$ y $\leq 19\text{mm}$, o cualquier grieta con un ancho $\leq 19\text{mm}$ y con un agrietamiento adyacente de baja gravedad, se considera un agrietamiento aleatorio.



Foto 12: Transversal, moderada gravedad, ACP 6M.

- **Alta (A)**

Una grieta con un ancho > 19 mm, o cualquier grieta con un ancho ≤ 19 mm y con un agrietamiento adyacente de gravedad moderada a gravedad alta, se considera un agrietamiento aleatorio.



Foto 13: Falla transversal de alta gravedad, ACP 6A.

c. Cómo medir

Registrar la cantidad de fallas y la longitud en metros lineales (m) de las grietas transversales según cada nivel de gravedad. Evalúe la falla transversal entera en el nivel de gravedad al menos 10% de la longitud total de la grieta. La longitud registrada en metros (m) es la longitud total de la grieta. También registre la longitud en metros (m) de las grietas transversales con sellante en buen estado, según el nivel de gravedad.

Nota: la longitud registrada es la longitud total de la grieta de sello sano y es asignada al nivel de gravedad de la grieta, registre solo cuando el sellante este en buen estado para al menos el 90% de la longitud de la grieta. Si la grieta transversal se extiende a lo largo de un área de falla por fatiga, el pedazo de la grieta dentro del área de fatiga no es considerado. La grieta es tratada como una grieta transversal sola, pero en una longitud reducida. Las grietas menos de 0,30 metros (m) en la longitud no están registradas.

d. Símbolo

Se dibuja la falla ubicando la letra según el tipo y severidad de la falla, a un costado. La letra "S", se coloca en caso de que la falla se encuentre sellada con material sellador en buen estado.

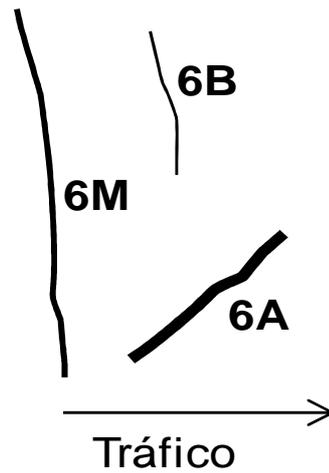


Figura 12: Símbolo de Falla Transversal, según nivel de severidad.

3.2.2.5. PARCHES / DETERIORO DE PARCHES

a. Descripción

La porción de pavimento sale a la superficie más de $0,10 \text{ m}^2$, ese a sido material quitado y reemplazado o adicionalmente aplicado al pavimento después de su construcción inicial. El código de esta falla es "ACP 7".

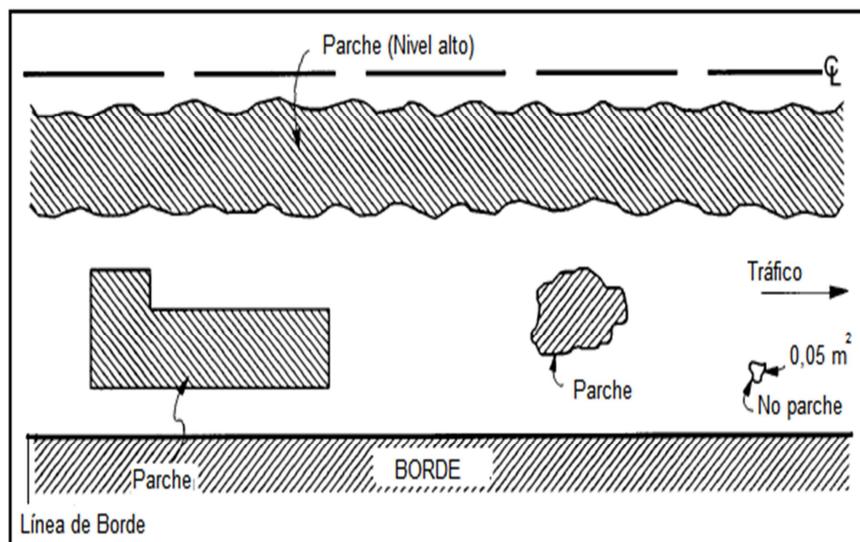


Figura 13: Parche/Deterioro del parche, ACP 7.

b. Niveles de gravedad**- Baja (B)**

El parche tiene a lo sumo un daño de baja gravedad de cualquier tipo, incluyendo roturado < 6 mm, el bombeo no es evidente.



Foto 14: Deterioro de parche de baja gravedad, ACP 7B.

- Moderada (M)

El parche tiene a lo sumo un daño de moderada gravedad de cualquier tipo o brama de 6 mm a 12 mm, el bombeo no es evidente.



Foto 15: Deterioro de parche de moderada gravedad, ACP 7M.

- **Alta (A)**

El parche tiene daño de alta gravedad de cualquier tipo incluyendo roturado > 12 mm o el parche tiene adicional otro parche de diferente material dentro de él, el bombeo puede ser evidente.



Foto 16: Deterioro de parche de alta gravedad, ACP 7A.

c. Cómo medir

Registre el número de parches y los metros cuadrados (m²) de área de la superficie afectada en cada nivel de gravedad.

Nota: cualquier daño en el límite del parche es tomado en cuenta evaluando el remiendo, la brama puede estar en el perímetro o interior del parche.

d. Símbolo

Se dibuja la falla determinando el área donde se encuentra este daño de la carpeta asfáltica, ubicando el nivel de severidad.

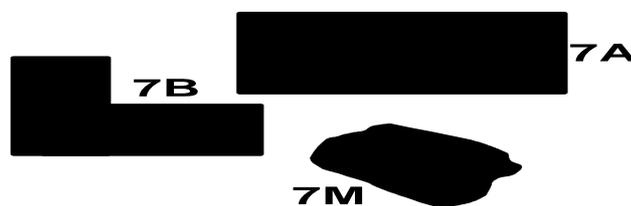


Figura 14: Símbolo de Falla de Parche.

3.2.2.6. BACHES

a. Descripción

Son huecos moldeados en diferente tamaño que se ven en la superficie del pavimento. La dimensión mínima para que se considere como un bache es de 150 mm. El código de esta falla es “ACP 8”.

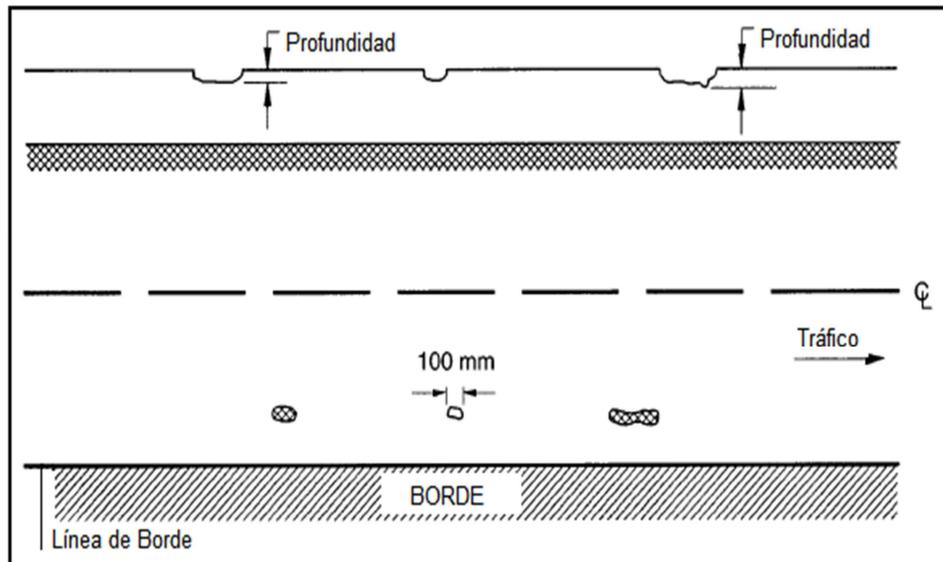


Figura 15: Baches, ACP 8.

b. Niveles de gravedad

- Baja (B)

Cuando el bache tiene una profundidad $< 25\text{mm}$.



Foto 17: Bache de baja gravedad, ACP 8B.

- **Moderada (M)**

Cuando el bache tiene una profundidad que va desde los 25 mm a 50 mm.



Foto 18: Bache de moderada gravedad, ACP 8M.

- **Alta (A)**

Cuando el bache tiene una profundidad > 50 mm.



Foto 19: Bache de alta gravedad, ACP 8A.

c. Cómo medir

Registre el número de baches y los metros cuadrados (m²) de área afectada en cada nivel de gravedad. La profundidad del bache es la máxima profundidad debajo de la superficie del pavimento.

d. Símbolo

Se dibuja la falla en la zona que ha sido afectada, colocando su código y nivel de severidad.

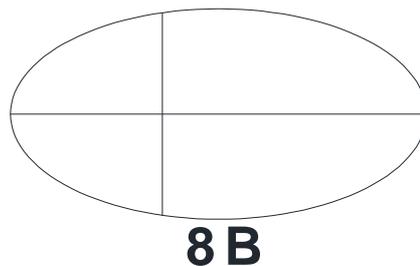


Figura 16: Símbolo de Baches.

3.2.2.7. CORRUGACIONES TRASNVERSALES

a. Descripción

Son desplazamientos longitudinales que se producen en un área localizada de la superficie del pavimento. Es generalmente causado por el frenado o por la aceleración de vehículos, y están usualmente ubicados en curvas, intersecciones o rompe velocidades. También se puede asociar a un desplazamiento vertical. El código de esta falla es "ACP 10".

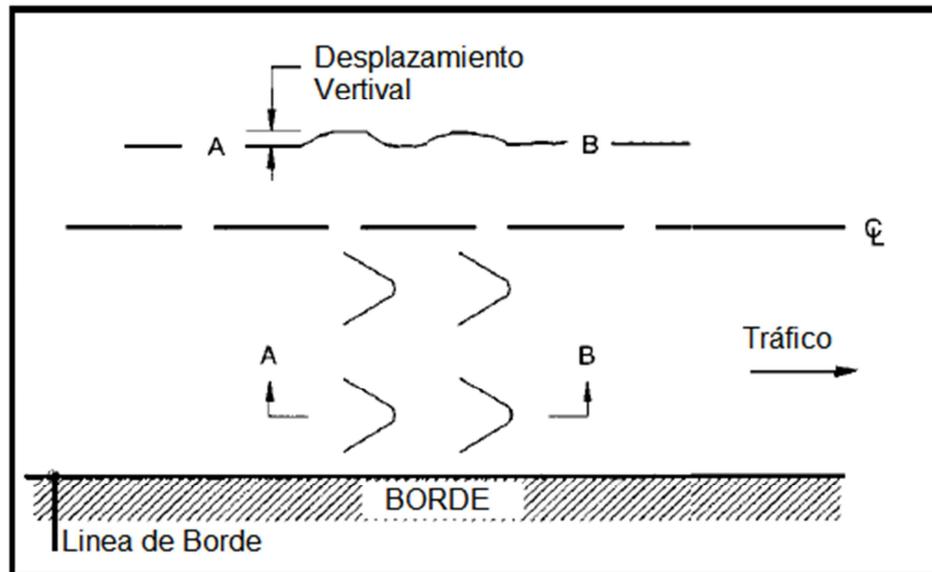


Figura 17: Corrugaciones, ACP 10.



Foto 20: Falla por Corrugaciones, ACP 10.

b. Niveles de gravedad

No se aplica. Sin embargo, los niveles de gravedad pueden estar definidos por el efecto relativo de las corrugaciones en la calidad del servicio de la vía.

c. Cómo medir

Registre el número de ocurrencias de esta falla y los metros cuadrados (m²) de área afectada.

d. Símbolo

Se dibuja la falla en la zona que ha sido afectada, colocando su código y nivel de severidad.

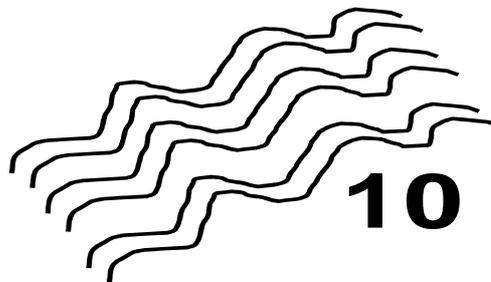


Figura 18: Símbolo de Corrugaciones.

3.2.2.8. DESGASTE DE ÁRIDOS / DESHILACHADURA

a. Descripción

La superficie del pavimento se va desgastando, este desgaste es causado por el desalojamiento de partículas del agregado y pérdida de carpeta asfáltica. El desgaste de áridos / deshilachadura se origina o extiende desde la pérdida de componentes finos, pérdida de algún agregado grueso y finalmente para llegar a tener una superficie muy áspera y llena de hoyos con pérdida obvia de agregado. El código de esta falla es "ACP 13".

b. Niveles de gravedad

No aplica. La presencia de esta falla, indica que la mezcla potencial presentó problemas de actuación. La intención es monitorear cualquier progresión.



Foto 21: Perdida de agregado fino, ACP 13.



Foto 22: Perdida de agregado fino y algún grueso, ACP 13.



Foto 23: Perdida de agregado grueso, ACP 13.

c. Cómo medir

Registre el número de ocurrencias de esta falla y los metros cuadrados (m^2) de superficie afectada, este tipo de falla no debe ser evaluada en porciones selladas

d. Símbolo

Se utiliza ubicando el código de la falla, en cualquier parte del interior de la zona de la vía afectada por esta falla.

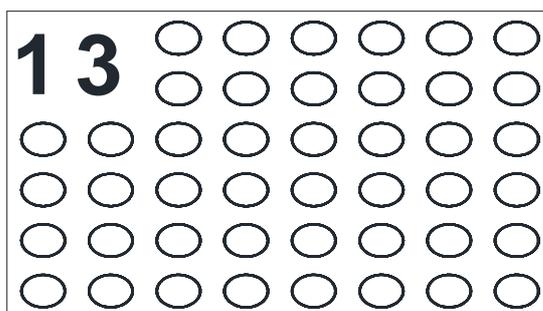


Figura 19: Símbolo de Falla por desgaste de áridos.

3.2.2.9. AGUA SANGRADO Y BOMBEO

a. Descripción

Se manifiesta por la expulsión de agua debajo del pavimento a través de fisuras o grietas. En algunos casos es detectable por depósito de material fino que salió a la superficie del pavimento, lo cual fue erosionando (bombeado) los estratos de la estructura de soporte de la vía y ha manchado la superficie del pavimento en la dirección de la pendiente. El código esta falla es “ACP 15”.

b. Niveles de gravedad

No aplica. Los niveles de gravedad no son usados por que la cantidad y grado de agua sangrando e infundiendo van cambiando según las diversas condiciones de humedad.



Foto 24: Agua sangrado y bombeo, ACP 15.



Foto 25: Material fino que queda en la superficie por expulsión de agua y bombeo, ACP 15.

c. Cómo medir

Registre el número de ocurrencias de este tipo de falla y la longitud en los metros lineales (m) de pavimento afectado con una longitud mínima de 1 metro (m).

Nota: la longitud combinada de agua sangrando y bombeando no puede exceder la longitud de la sección experimental.

d. Símbolo

Se utiliza ubicando el código de la falla, en cualquier parte del símbolo de este tipo de daño y las aristas se dibujan en dirección hacia donde el agua esta filtrando.

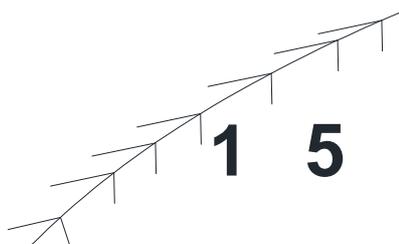


Figura 20: Símbolo de sangrado de agua.

3.2.3. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE FALLAS

Del levantamiento visual del anillo vial de la ESPE, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14: Levantamiento de fallas del Carril Exterior.

SUB CATEGORÍA	CÓD. GRAV.	Nº FALLAS	CANT.	UNID.
FATIGA	ACP 1B	150	3793.53	m ²
	ACP 1M	92	1938.75	m ²
BLOQUE	ACP 2B	1	0.55	m ²
	ACP 2M	9	139.93	m ²
LONGITUDINAL	ACP 4aB	143	557.45	m
	ACP 4aM	159	799.10	m
	ACP 4bB	105	509.60	m
	ACP 4bM	118	506.80	m
TRANSVERSAL	ACP 6B	203	435.45	m
	ACP 6M	127	294.80	m
PARCHE	ACP 7B	10	5	m ²
BACHE	ACP 8B	48	153.99	m ²
DESGASTE ÁRIDOS	ACP 13	113	3521.41	m ²
AGUA SANGRADO	ACP 15	22	61.90	m

Tabla 15: Levantamiento de fallas del Carril Interior.

SUB CATEGORÍA	CÓD. GRAV.	Nº FALLAS	CANT.	UNID.
FATIGA	ACP 1B	205	5191.90	m ²
	ACP 1M	78	2267.69	m ²
BLOQUE	ACP 2B	2	1.13	m ²
	ACP 2M	7	15.88	m ²
LONGITUDINAL	ACP 4aB	155	525.00	m
	ACP 4aM	171	810.30	m
	ACP 4bB	138	473.45	m
	ACP 4bM	141	634.60	m
TRANSVERSAL	ACP 6B	224	406.10	m
	ACP 6M	107	213.90	m
PARCHE	ACP 7B	4	1.25	m ²
	ACP 7M	1	14.18	m ²
BACHE	ACP 8B	26	166.58	m ²
	ACP 8M	10	27.01	m ²
CORRUGACION	ACP 10	4	6.06	m ²
DESGASTE ÁRIDOS	ACP 13	90	2806.31	m ²
AGUA SANGRADO	ACP 15	14	53.40	m

(U.S Department of Transportation, 2003)

3.3 EVALUACION ESTRUCTURAL

Este tipo de evaluación va encaminado a determinar aquellos tramos de la vía cuyo estado de deterioro ha llegado a un nivel en el cual el pavimento ya no tiene la capacidad de resistir cargas y cualquier planificación para realizar el mantenimiento tradicional ya no es viable, sino que se debe realizar la rehabilitación integral de dicho tramo para que vuelva a ser transitable y proporcione los beneficios al usuario.

El principal fin de esta evaluación en el presente trabajo, es determinar la capacidad estructural efectiva que actualmente tiene la estructura del

pavimento, ya que en base a estos resultados se va a determinar cuál es la alternativa más viable para mejorar el servicio que está prestando la vía de la universidad.

3.3.1. ENSAYOS

Los ensayos que se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Ciencias de la Tierra y para este proyecto, fueron los ensayos de Humedad Natural, Granulometría por Lavado y Tamizado, Límite Líquido y Plástico, Clasificación de suelo (SUCS Y AASHTO), Compactación (Proctor) y CBR, basado cada ensayo en las normas ASTM que se detallan a continuación:

Tabla 16: Ensayos realizados según normas ASTM.

ENSAYO	NORMA ASTM
Límite Líquido	D4318
Límite Plástico	D4318
Granulometría por Lavado	C117
Granulometría por Tamizado	C136
Clasificación de suelos SUCS	D2487
Clasificación de suelos AASHTO	D3282
Compactación (Proctor)	C1557
CBR	D1883

Para poder ejecutar los ensayos se realizaron dos calicatas y se tomaron muestras a diferentes alturas en las cuales era visible el cambio de color y tipo de material.



Foto 26: Calicata



Foto 27: Espesor de la carpeta asfáltica.

De estos ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17: Resultados de los ensayos realizados, Cota Inicial 2526,67 m.s.n.m., Cota Final 2525,54 m.s.n.m.

ALTURA (m)	COTA	W%	LL	IP	% PASA 200	CLASIFICACION SUELO SUCS	CLASIFICACION SUELO AASHTO	γ_{dmax}	CBR
0,07	2526,60	9,83%	NP	NP	15,00%	SM	A - 1 - a	1,9888	35
0,60	2526,07	17,15%	28,00%	7,00%	36,00%	SM - SC	A - 4 (0)	-----	-----
0,80	2525,87	20,70%	30,00%	8,00%	38,00%	SC	A - 4 (0)	-----	-----
1,13	2525,54	27,77%	33,00%	9,00%	45,00%	SC	A - 4 (1)	1,7144	18

Tabla 18: Resultados de los ensayos realizados, Cota Inicial 2511,66 m.s.n.m., Cota Final 2510,46 m.s.n.m.

ALTURA (m)	COTA	W%	LL	IP	% PASA 200	CLASIFICACIÓN SUELO SUCS	CLASIFICACIÓN SUELO AASHTO	γ_{dmax}	CBR
0,07	2511,59	13,75%	NP	NP	18,00%	SM	A - 1 - b	2,0315	59
0,40	2511,26	10,25%	19,00%	2,00%	16,00%	SM	A - 1 - b	-----	-----
1,00	2510,66	27,07%	29,00%	8,00%	45,00%	SC	A - 4 (1)	-----	-----
1,20	2510,46	51,19%	37,00%	14,00%	47,00%	SC	A - 6 (4)	1,7765	9

Los resultados de los ensayos se representan en el ANEXO 1.

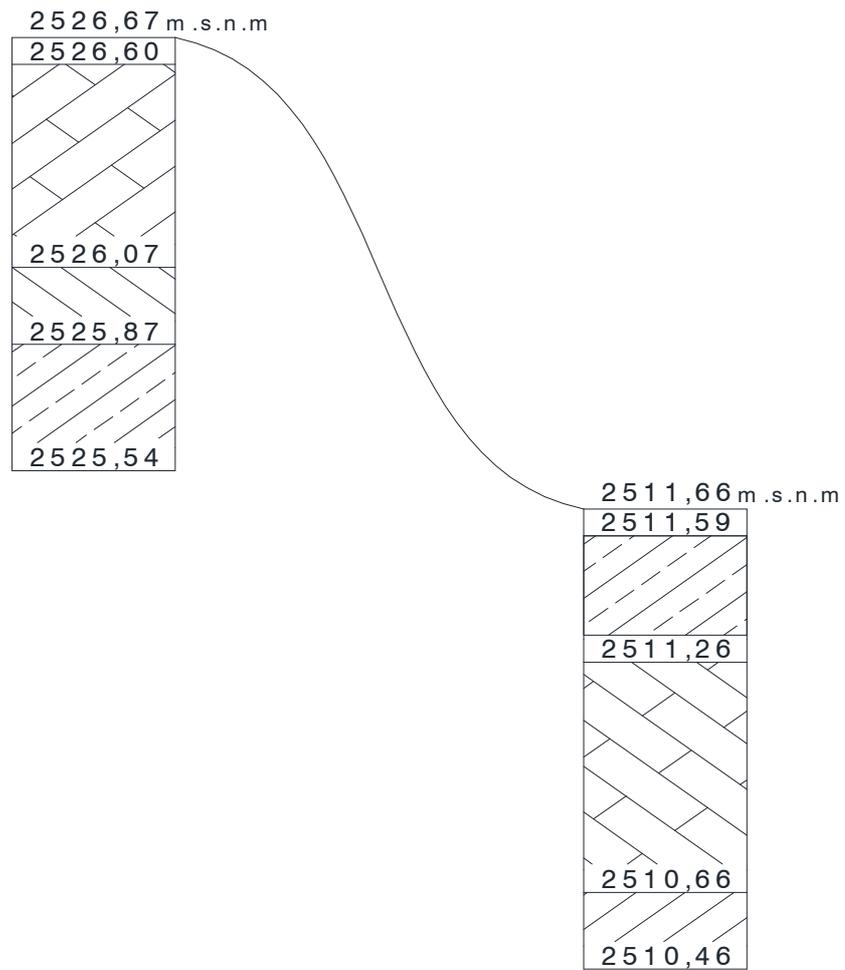


Figura 21: Diferencia de altura entre calicatas.

CAPITULO IV

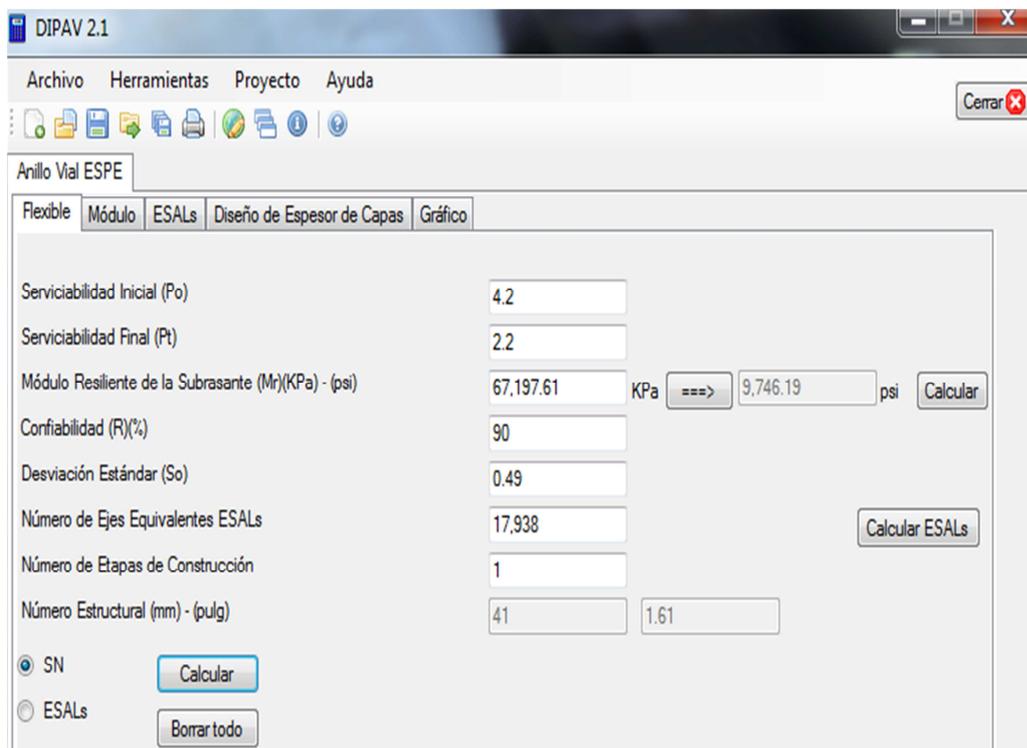
PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

4.1 DISEÑO DE PAVIMENTO

Para realizar el diseño del pavimento, basándonos en los resultados obtenidos, nos apoyamos de dos programas computacionales, estos programas son:

- DIPAV 2.1
- DEPAV

A continuación se indica el procedimiento para el diseño del pavimento:



The screenshot shows the DIPAV 2.1 software interface. The window title is "DIPAV 2.1". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window is titled "Anillo Vial ESPE" and has tabs for "Flexible", "Módulo", "ESALs", "Diseño de Espesor de Capas", and "Gráfico". The "Diseño de Espesor de Capas" tab is active, displaying the following data input fields:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.2
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	67,197.61 KPa <input type="button" value="==>"/> 9,746.19 psi <input type="button" value="Calcular"/>
Confiability (R)(%)	90
Desviación Estándar (So)	0.49
Número de Ejes Equivalentes ESALs	17,938 <input type="button" value="Calcular ESALs"/>
Número de Etapas de Construcción	1
Número Estructural (mm) - (pulg)	41 <input type="text" value="1.61"/>

At the bottom, there are radio buttons for "SN" (selected) and "ESALs", along with "Calcular" and "Borrar todo" buttons.

Figura 22: Ingreso de datos.

Tabla 19: Datos de ingreso al programa.

Transito N =	1,79E+04	ejes de 8.2 toneladas
Carga por llanta P =	2,05	ton
Presión de inflado Q =	6	Kg/cm ²
Radio de carga =	$a = \sqrt{\frac{2050}{\pi * 6}}$	$\longrightarrow a = 10,43$
Separación entre llantas Scc =	$3*a$	$\longrightarrow Scc = 31,29$

Determinación del clima

Temperatura Regional promedio	19 °C
Módulo de la mezcla =	40.000,00
Módulo de la base asfáltica =	17.000,00
Sub rasante =	9.746,19 PSI = 685,23 Kg/cm ²
Base granular =	15.496,04 PSI = 1089,48 Kg/cm ²

DIPAV 2.1

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Anillo Vial ESPE

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Cálculo del TPDA Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)

Año	Livianos	Camiones 1 eje	Buses
2013	585,492.18	5,974.41	5,974.41
2014	626,476.63	6,392.62	6,392.62
2015	670,330.00	6,840.10	6,840.10
2016	717,253.10	7,318.91	7,318.91
2017	767,460.81	7,831.23	7,831.23
2018	821,183.07	8,379.42	8,379.42
2019	878,665.89	8,965.98	8,965.98
2020	940,172.50	9,593.60	9,593.60
2021	1,005,984.57	10,265.15	10,265.15
2022	1,076,403.49	10,983.71	10,983.71
2023	1,151,751.74	11,752.57	11,752.57
2024	1,232,374.36	12,575.25	12,575.25
2025	1,318,640.56	13,455.52	13,455.52
2026	1,410,945.40	14,397.40	14,397.40
2027	1,509,711.58	15,405.22	15,405.22

Número Estructural Asumido (pulgadas) 4

Porcentaje de Tráfico en el Camil de Diseño (ESALs)(%) 50

Número de Ejes Equivalentes ESALs 17,938

Exportar Período de diseño 15

Editar Tipos Nro. de Vehículos 3

Calcular <===== Ok

Figura 23: Ingreso del tránsito futuro, tabla 11.

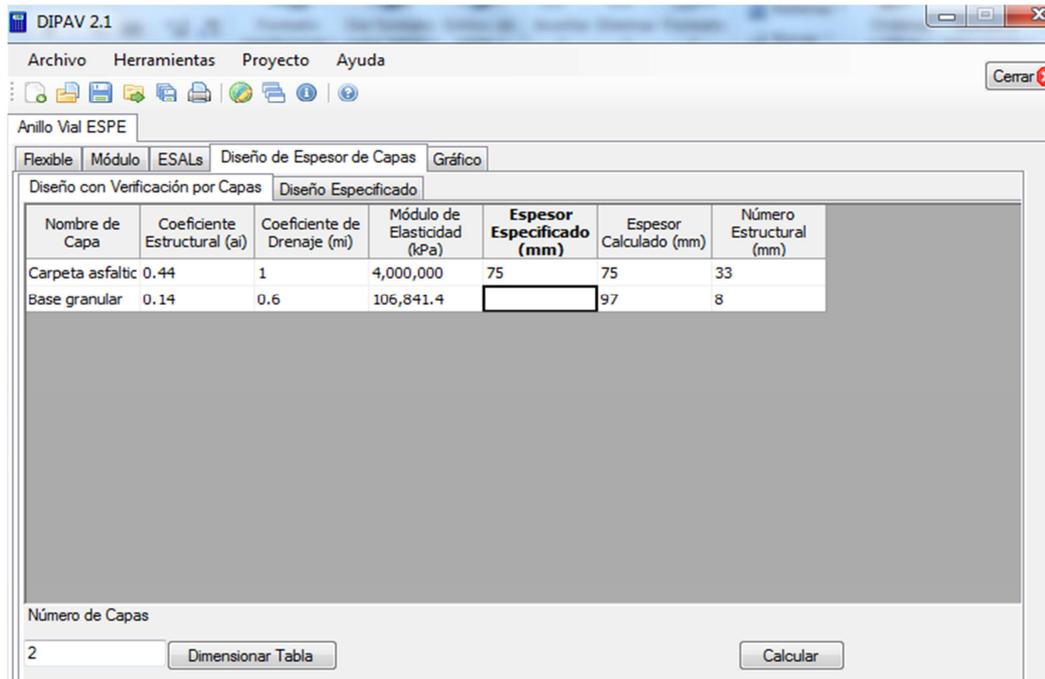


Figura 24: Altura de Carpeta asfáltica y base.

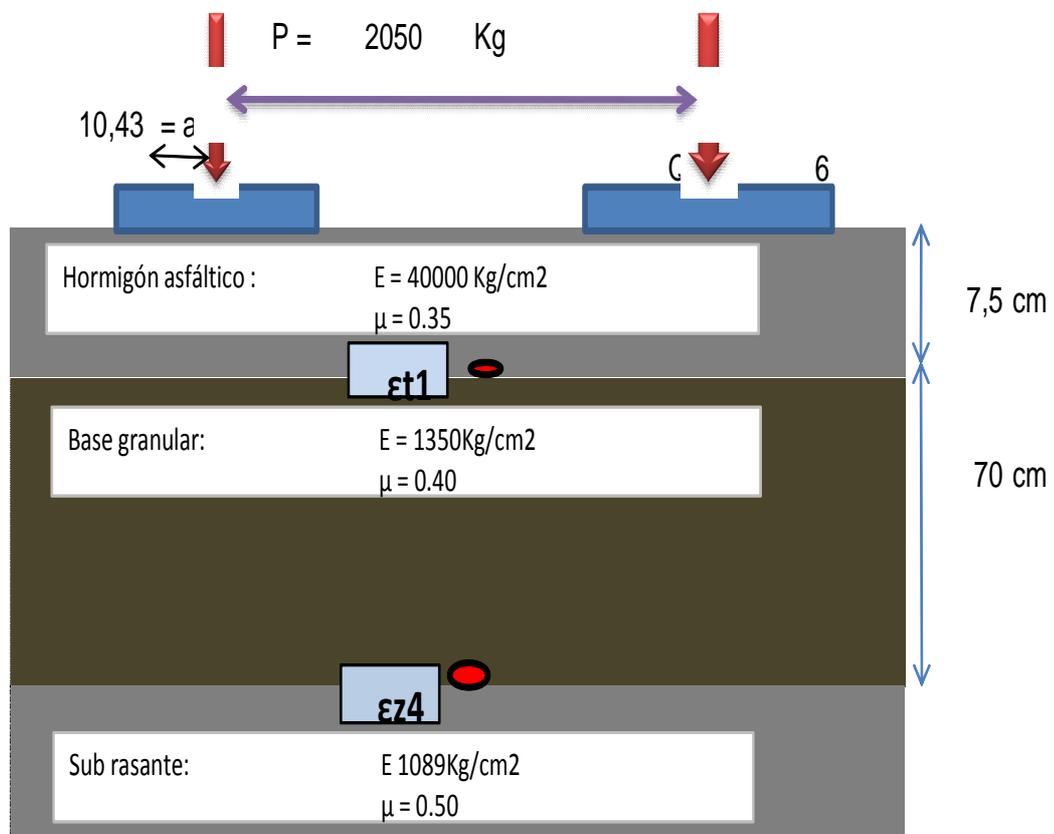


Figura 25: Estructura del pavimento.

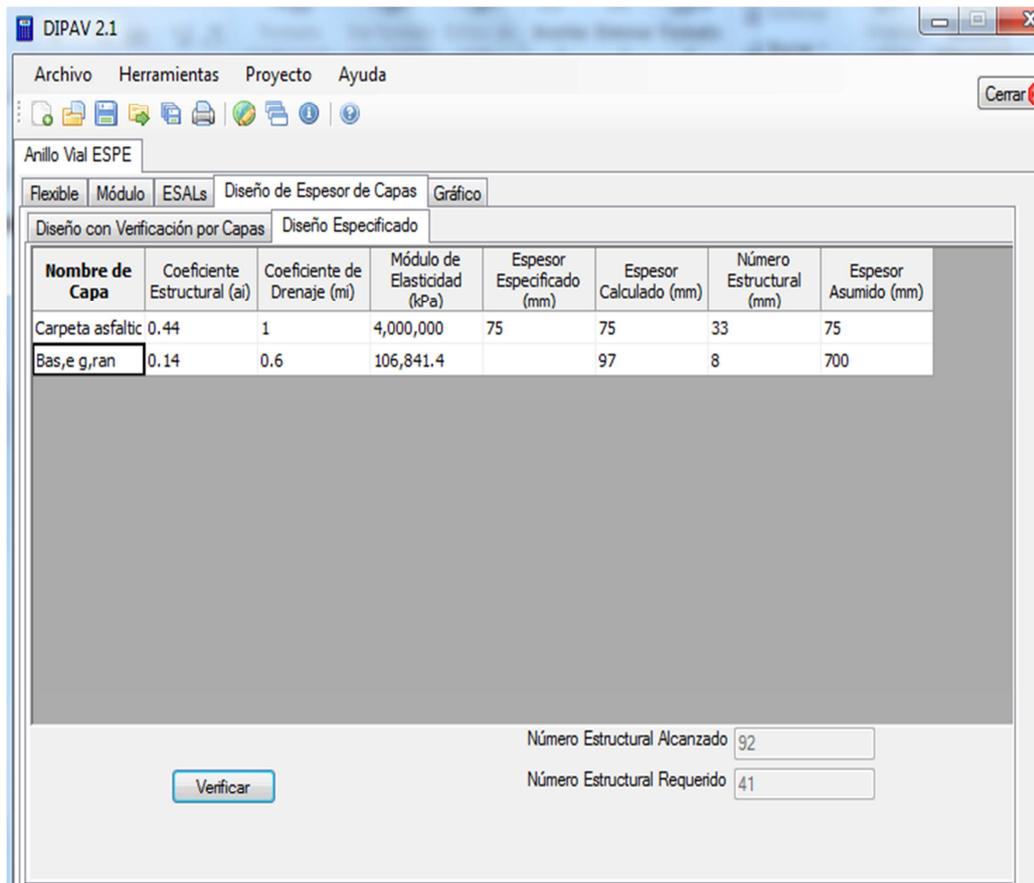


Figura 26: Altura de Carpeta asfáltica y base especificados.

El programa DEPAV, nos permitirá determinar las deformaciones que sufre la estructura del pavimento entre el hormigón asfáltico y la base granular así como entre la base granular y la sub rasante, cuando está sometido a cargas de los vehículos.

Estas deformaciones nos permitirán verificar si la estructura del pavimento, en base a los datos obtenidos cumple con los esfuerzos admisibles tanto a tracción como a compresión.

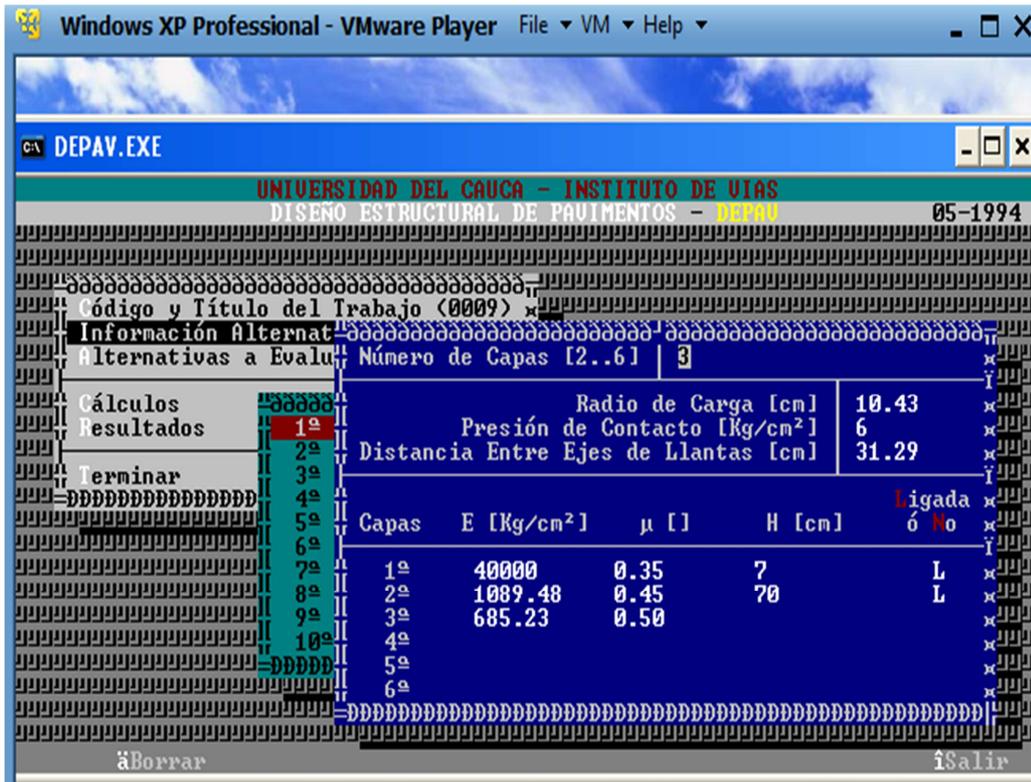


Figura 27: Ingreso de datos.

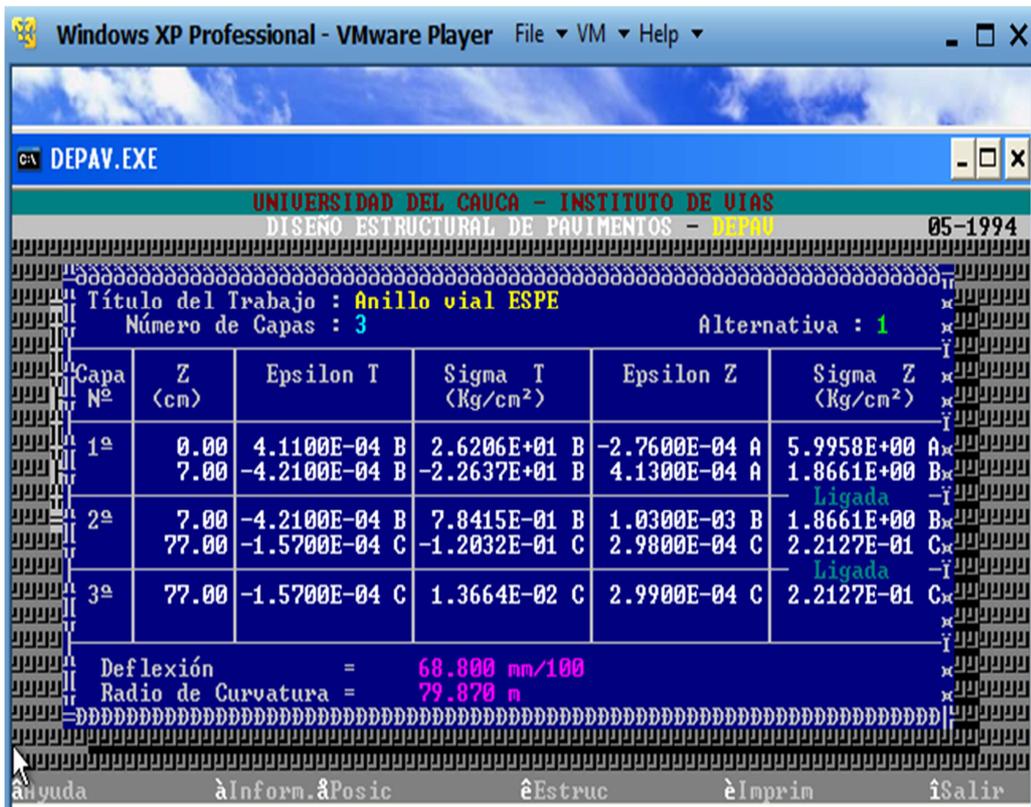


Figura 28: Deformaciones de tracción y compresión.

Tabla 20: Verificación de deformación según ejes equivalentes vs. deformaciones según estructura existente.

$Nf = (0.0432 * K1 * C) * \left(\frac{1}{\epsilon t}\right)^{K2} * \left(\frac{1}{E}\right)^{K3}$		Instituto del Asfalto	
	$\epsilon r1 = \sqrt[3.291]{\frac{0.0796}{Nf * E^{0.854}}}$	(admisible)	
$\epsilon r1 =$	7,59E-04	<	4,21E-04 cumple por tracción
$Nz = (1.365 * 10^{-9}) * (\epsilon Z)^{-4.477}$		Ahuellamiento en sub rasante	
	$\epsilon Z = \sqrt[4.477]{\left(\frac{1.365 * 10^{-9}}{Nz}\right)}$	(admisible)	
$\epsilon z1 =$	1,17E-03	>	2,99E-04 cumple por compresión

4.2 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Luego de realizar el diseño del pavimento con los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas y haber comprobado que la estructura del pavimento cumple con las condiciones estructurales, se realiza la propuesta de mejoramiento del anillo vial con los puntos que se detallan a continuación:

- Fresado (Escarificado).
- Carpeta asfáltica de 3 pulgadas.
- Imprimación.
- Compactación (Reconformación de Base)
- Subdrenes.

El procedimiento para realizar el mejoramiento es el siguiente:

- a. Realizar paralelamente la excavación para los subdrenes y el fresado
- b. Excavar para colocar los desagües de los subdrenes.
- c. Ejecutar la reconformación de la base.
- d. Imprimir
- e. Colocar la carpeta asfáltica de 3"

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios se presenta en el ANEXO 2.

5.2 PRESUPUESTO

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
505488	FRESADO (ESCARIFICADO)	m ²	33.165,00	1,66	55.053,90
500356	CARPETA ASFALTICA 3"	m ²	33.165,00	12,74	422.522,10
500354	IMPRIMACION	m ²	33.165,00	1,08	35.818,20
500370	RECONFORMACION DE LA VIA	m ²	33.165,00	2,13	70.641,45
502615	SUBDRENES 0.40x1.00	m	1.150,00	15,84	18.216,00
505637	TUBO DE DESAGUE PVC R.16mm	m	180,00	17,33	3.119,40
505554	EXCAVACION A MAQUINA PARA EL SUBDREN	m ³	460,00	3,03	1.393,80
500031	EXCAVACION A MANO	m ³	36,00	8,61	309,96
				TOTAL:	607.074,81

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el análisis estructural de la estructura del pavimento, se concluye que el pavimento no tiene deficiencias estructurales sino que las deficiencias son la falta de drenes laterales y la falta de un mantenimiento preventivo adecuado por lo que el pavimento ha sufrido un daño considerable al punto que no está brindando la seguridad y confort a los usuarios.

En la capa de rodadura existe un constante deterioro por lo que se pudo evidenciar ocho (08) sub categorías de los deterioros en el carril exterior del anillo vial, mientras que en el carril interior se evidenciaron nueve (09) sub categorías.

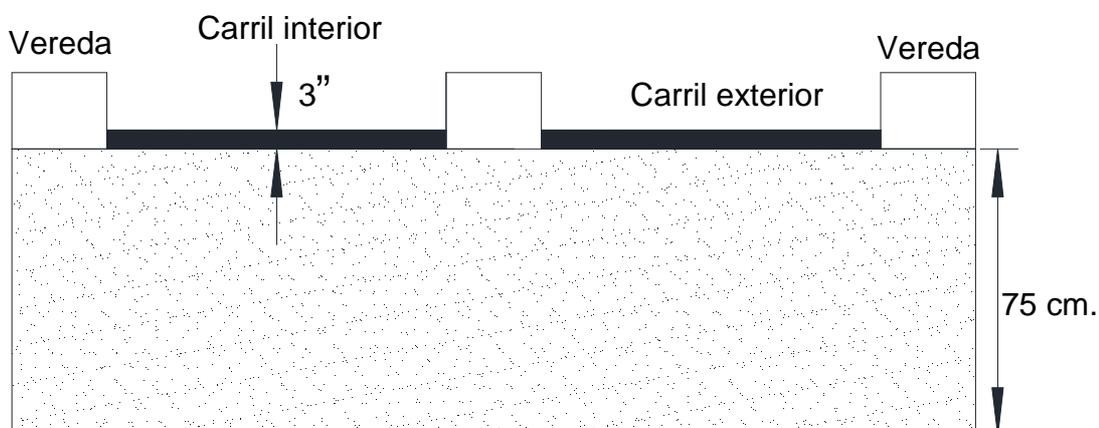


Figura 29: Estructura de Pavimento existente.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los trabajos establecidos en la propuesta de mejoramiento del anillo vial, con la finalidad de mejorar el servicio que actualmente está prestando dicha vía. En la figura siguiente se indica la propuesta de mejoramiento que se plantea para la vía en estudio.

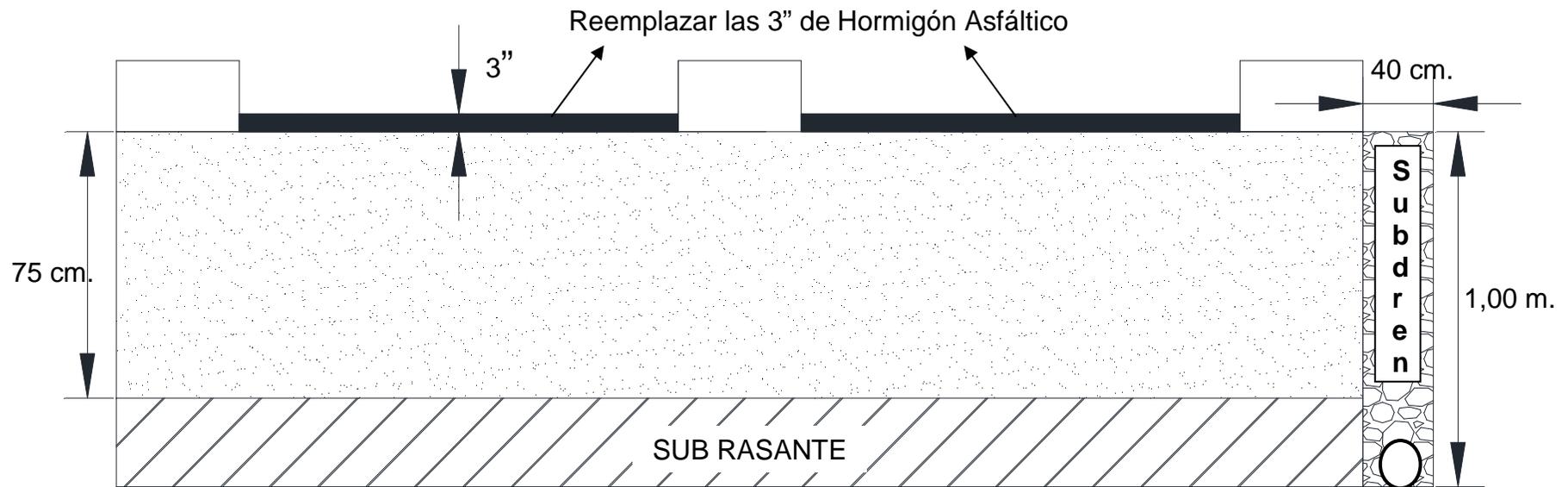


Figura 30: Propuesta de la Nueva Estructura de Pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alma, A. M. (ENERO de 2012). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30378/1/AcostaMtz.pdf>
- Cal, R., & Mayor, R. (2007). *Ingeniería de Tránsito*. México: Alfaomega.
- CAPT Ochoa P, G. E. (2013). *GOOGLE EARTH*.
- Dr. Salomón, D. (2009). *Pavement Preservation Systems, L.L.C.* Obtenido de <http://www.technopave.com/publications/ConservaciondePavimentos-EstrategiaSencilla-DRS-Sept-23-2009.pdf>
- Gordon, K., & James, S. (2005). *Ingeniería de Caminos Rurales*. México: Instituto Mexicano de Transporte.
- Ing Jubo, A. (2005). Obtenido de http://vialidad21.galeon.com/manual_mrvial.pdf
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS MOP - 001. (2002).
ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE
CAMINOS Y PUENTES. *MOP - 001*.
- Rodríguez, C., & Rodríguez, J. (Agosto de 2004). *Universidad de El Salvador*. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluaci%C3%B3n_y_rehabilitaci%C3%B3n_de_pavimentos_flexibles_por_el_m%C3%A9todo_del_reciclaje.pdf
- U.S Department of Transportation. (2003). Federal Highway Administration .