



UNIVERSIDAD PRIVADA TELESUP

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**DEFLEXIÓN Y LA CAPA DE RODADURA DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE, EN LA AVENIDA SANTA ROSA -
SAN JUAN DE LURIGANCHO – LIMA.2016.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL.**

AUTOR:

Bach. Garcia Villanueva, Jansen Jair.

ASESOR

Dra. Grisi Bernardo Santiago.

LIMA – PERÚ

2017

ASESOR DE TESIS.

Dra. Grisi Bernardo Santiago.

JURADO EXAMINADOR.

Dra. Grisi Bernardo Santiago.
Presidente.

Dr. Edmundo Jose Barrantes Rios
Secretario.

Dr. Wilmer Auccahuasi Aiquipa.
Vocal.

DEDICATORIA.

Quiero dedicar esta tesis a mi familia y amigos, principalmente a mis padres Cesar & Irma que han sido el pilar fundamental en mi formación como profesional, a mis hermanos James, Cesar & Clara y a mis Tíos Manuel & Edita, los cuales fueron parte importante en esta etapa profesional, los consejos brindados me hicieron completar este objetivo iniciado hace 5 años, que es mi título profesional.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres, sin duda alguna en el trayecto de mi vida me demostraron ser las mejores personas, corrigiendo mis faltas y equivocaciones y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos, por ser las personas como son, por los consejos brindados, y haberme ayudado a los retos que se me fueron asumidos en este proceso de mi carrera universitaria.

A los docentes ya que ellos me enseñaron valorar los estudios y a la vez superarme cada día más.

RESUMEN.

El propósito de la presente tesis es mostrar el mejoramiento vehicular y peatonal de la Avenida Santa Rosa, la finalidad es mejorar la calidad de vida útil de la capa de rodadura del pavimento flexible y la calidad de vida de los habitantes de la zona estudiada.

Los estudios realizados en campo detallan las fallas existentes como los baches, hundimientos, piel de cocodrilo y demás fallas encontradas en el área estudiada; para posteriormente dar soluciones a dichos problemas que afectan en esta vía.

Se efectuaron trabajos en laboratorio como estudio de suelos obteniendo datos como la, granulometría, humedad, límites de consistencia y el C.B.R.; también el conteo del tránsito vehicular promedio diario.

El estudio presenta el concepto de la deformación permanente de la capa de rodadura y las fallas funcionales que existen en la vía, esta realidad surge con la necesidad de mejorar la tecnología en los pavimentos daño soluciones para futuros proyectos implementados en el Perú.

Se determina la necesidad que se cuente con equipos de laboratorio y de campo necesarios que permitan realizar ensayos para manejar mejor las fallas y deterioros de la capa de rodadura del pavimento flexible, cuya finalidad es la prevención y el mantenimiento, concluyendo que solucionaría el tránsito vehicular que circula por la Avenida Santa Rosa.

Los análisis de los resultados obtenidos indicaron que la capa de rodadura del pavimento flexible se ve afectado por la deflexión, estas cargas sometidas tales como la intemperie, carga vehicular y etapa de diseño de la sección estructural (Cajón Estructural).

Así mismo el tránsito vehicular que circula por la Avenida Santa Rosa es de abundante demanda, la cantidad de vehículos circulantes por esta avenida es alta, las cargas axiales sometidas a la capa de rodadura generan diversos deterioros, fallas, grietas, hundimientos. También se determinó que las causas principales del deterioro de la capa de rodadura es principalmente las condiciones climáticas, cargas de tránsito y el material utilizado en su etapa de diseño.

Palabras claves: Deflexión, rodadura, pavimento flexible.

ABSTRACT.

The purpose of the present thesis is to show the vehicular and pedestrian improvement of the Santa Rosa Avenue, the purpose is to improve the quality of life of the flexible pavement tread and the quality of life of the inhabitants of the studied area.

Field studies detail the existing faults such as bumps, subsidence, crocodile skin and other faults found in the studied area; To later give solutions to those problems that affect in this way.

Laboratory work was carried out as a soil study, obtaining data such as grain size, humidity, limits of consistency and C.B.R; Also the average daily vehicular traffic count.

The study presents the concept of permanent deformation of the rolling layer and the functional faults that exist in the road, this reality arises with the need to improve the technology in pavements damage solutions for future projects implemented in Peru.

It is determined that there is a need for laboratory and field equipment necessary to carry out tests to better handle faults and deterioration of the flexible pavement rolling, whose purpose is prevention and maintenance, concluding that it would solve vehicular traffic Which runs along Santa Rosa Avenue.

The analysis of the obtained results indicated that the rolling layer of the flexible pavement is affected by the deflection, these subjected loads such as the weather, vehicular load and design stage of the structural section (Structural Drawer).

Likewise, the vehicular traffic that circulates in the Santa Rosa Avenue is of abundant demand, the number of vehicles circulating in this avenue is high, the axial loads subjected to the rolling layer generate diverse damages, faults,

cracks, subsidence. It was also determined that the main causes of deterioration of the tread layer are mainly the climatic conditions, traffic loads and the material used in its design stage.

Key words: Deflection, rolling, flexible pavement.

INDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
Asesor de tesis.	ii
Jurado examinador.	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
RESUMEN.	vi
ABSTRACT.	viii
Indice de contenido.....	x
Indice de cuadros	xii
Indice de figuras	xiii
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema General.....	17
1.2.2. Problemas Específicos	17
1.3. Justificación del estudio	18
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema.....	21
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes Internacionales	43
2.2. Bases teóricas	62
2.2.1. Deflexión	62
2.3. Definición de términos básicos	74
III. MARCO METODOLOGICO	76
3.1. Hipótesis.....	76
3.1.1. Hipótesis general.....	76

3.1.2. Hipótesis Específicas.....	76
3.2. Variables de estudio.....	76
3.2.1. Definición conceptual.....	76
3.2.2. Definición operacional.....	77
3.3. Tipo o nivel de investigación.....	78
3.4. Diseño de la investigación para contrastar la hipótesis.....	78
3.5. Población y muestra.....	78
3.5.1. Población.....	78
3.5.2. Muestra.....	79
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	80
3.7. Método de análisis de datos.....	80
3.8. Aspectos Éticos.....	81
IV. RESULTADOS.....	83
4.1. Resultados.....	83
4.1.1. Resultados estadísticos del asfalto.....	83
4.1.2. Resultados estadísticos del agregado.....	91
V. DISCUSIÓN.....	100
5.1. Discusión de los resultados comparación de variables 1 sobre la variable 2 con su influencia sobre los agregados.....	100
5.2. Discusión de la Contrastación de las hipótesis estadísticamente.....	100
5.3. Resumen estadístico de la comparación de varias muestras respecto su influencia en la Presión.....	101
5.4. Discusión sobre la Superficie de Respuesta.....	101
VI. CONCLUSIONES.....	102
VII. RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	104
ANEXOS.....	106
ANEXO 1: Matriz de Consistencia.....	106
ANEXO 2: Matriz de Operacionalización.....	107
ANEXO 3: Evaluación del Pavimentos Método PCI.....	108
ANEXO 4: Inspección visual Av. Santa Rosa.....	123
ANEXO 5: Validación de Instrumentos.....	138

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N 01: Unidades de muestra en estado malo y muy malo	30
Cuadro N 02: 400 – 1 – EG 2000	40
Cuadro N 03: Especificaciones técnicas constructivas	63
Cuadro N 04: Especificaciones en tipos de vías	64
Cuadro N 05: Tipos de agregados	65
Cuadro N 06: Pavimentos especiales	66
Cuadro N 07: Temperatura y medio ambiente	68
Cuadro N 08: Tipo de carpeta asfáltica según intensidad del tránsito.....	69
Cuadro N 09: Definición operacional.....	77
Cuadro N 10: Resumen Estadístico	83
Cuadro N 11: Comparación de Desviaciones Estándar	86
Cuadro N 12: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)	87
Cuadro N 13: Tabla Análisis de Variancia (ANOVA) para SECCION PAVIMENTO (m) /ASFALTO (plg)	88
Cuadro N 14: Análisis de Varianza para humedad.....	89
Cuadro N 15: Resumen Estadístico	91
Cuadro N 16: Comparación de Desviaciones Estándar	94
Cuadro N 17: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)	95
Cuadro N 18: Análisis de Variancia (ANOVA) para SECCION PAVIMENTO (m) por AGREGADO (plg)	96
Cuadro N 19: Análisis de Varianza para humedad.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Porcentaje de unidades de muestra con un estado de pavimento	28
Figura 02: Estructura del pavimento.....	43
Figura 03: Ejemplo relaciones peso volumétrico seco – contenido de agua - vrs	71
Figura 04: Calculo del tránsito equivalente acumulado (ΣL).	72
Figura 05: Grafica para diseño estructural de carretas con pavimento flexible	72
Figura 06: Mapa de muestreo	79
Figura 07: Comparación del Asfalto y la Sección del Pavimento	85
Figura 08: Comparación desviación del Asfalto y la Sección del Pavimento	86
Figura 09: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m).....	88
Figura 10: Efectos de la Humedad.....	89
Figura 11: Superficie de respuesta estimada	90
Figura 12: Comparación del Agregado y la Sección del Pavimento.....	93
Figura 13: Comparación desviación del Agregado y la Sección del Pavimento ...	94
Figura 14: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m).....	97
Figura 15: Efectos de la Humedad	98
Figura 16: superficie de respuesta estimada.....	99
Figura 17: Falla de piel de cocodrilo ⁴¹	108
Figura 18: Falla de Exudación.....	109
Figura 19: Falla de Agrietamiento múltiple	110
Figura 20: Falla de Abultamiento y Hundimiento.....	111
Figura 21: Falla de Corrugación	112
Figura 22: Falla de Depresión	112
Figura 23: Falla de Fisura de borde	113
Figura 24: Falla de Fisura de reflexion	114
Figura 25: Falla de Desnivel de carril	114
Figura 26: Fisura Longitudinal y transversal.....	115
Figura 27: Parches y Parches utilitarios	116
Figura 28: Agregado pulido	117
Figura 29: Baches	117
Figura 30: Canalizaciones.....	118
Figura 31: Fisura parabólica o por deslizamiento.....	119

Figura 32: Falla por desplazamiento	120
Figura 33: Falla por hinchamiento	120
Figura 34: Falla por peladura	121
Figura 35: Foto 1	123
Figura 36: Foto 2	123
Figura 37: Foto 3	124
Figura 38: Foto 4	124
Figura 39: Foto 5	125
Figura 40: Foto 6	125
Figura 41: Foto 7	126
Figura 42: Foto 8	126
Figura 43: Foto 7	127
Figura 44: Foto 10	127
Figura 45: Foto 11	128
Figura 46: Foto 12	128
Figura 47: Foto 13	129
Figura 48: Foto 14	129
Figura 49: Foto 15	130
Figura 50: Foto 16	130
Figura 51: Foto 17	131
Figura 52: Foto 18	131
Figura 51: Foto 19	132
Figura 52: Foto 20	132
Figura 53: Foto 21	133
Figura 54: Foto 22	133
Figura 55: Foto 23	134
Figura 56: Foto 24	134
Figura 57: Foto 25	135
Figura 58: Foto 26	135
Figura 59: Foto 27	136
Figura 60: Foto 28	136
Figura 61: Foto 29	137
Figura 62: Foto 30	137

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El pavimento tiene la finalidad de permitir la operación de vehículos en un nivel de servicio aceptable y óptimo, a lo que se puede agregar, protegiendo adecuadamente la sub rasante, el punto más débil del paquete estructural de la capa de rodadura.

De esta definición puede desprenderse que existe en primer lugar un modo de falla funcional, que aplica cuando el pavimento deja de cumplir sus funciones básicas. Normalmente, este modo de falla es acompañada de una falla estructural. Por otra parte, las fallas pueden ser, asociadas o no asociadas con cargas; mientras que las causas se refieren a:

Estructural, cuando se presenta una deficiencia de la estructura o un exceso de cargas, control de calidad, por deficiencia en la calidad de algún producto o proceso que induce debilidad en algún punto o sector del pavimento, que produce esfuerzos térmicos, oxidación de algunos materiales, así como infiltraciones de agua que debilitan la estructura.

Los cambios de temperatura bruscos en estos últimos años han permitido que se observe fallas con más frecuencia en los pavimentos debido a la alteración de los componentes que conforman la estructura del pavimento.

En el diseño de pavimentos de bajo y de alto volumen de tránsito, tanto las temperaturas altas como extremadamente bajas, afectan a los materiales asfálticos de la superficie de rodado, del mismo modo que afecta a los pavimentos regulares, es decir afecta al Módulo de Rigidez y a la estabilidad de las mezclas. Se considera la variación del Módulo por efecto de la temperatura y a su vez recomienda utilizar las mismas especificaciones técnicas para la selección del tipo de asfalto y el diseño de mezclas asfálticas,

a aquellas utilizadas en pavimentos de asfalto convencionales, existen dos aspectos que deben considerarse con relación al clima que inciden en la construcción de un pavimento asfáltico.

El primer aspecto de ellos es el referente a la imposibilidad de efectuar mezclas asfálticas por limitantes de temperatura y humedad. Estas limitantes están indicadas en todas las especificaciones, de manera que no se hace necesario repetirlas. En todo caso, es conveniente cumplirlas fielmente, si se quiere obtener un resultado satisfactorio.

El segundo aspecto se refiere al tiempo de duración de las limitantes mencionadas. Al diseñar un pavimento. Por motivos de comodidad seguridad y funcionalidad, siendo estas fallas presentes en toda la vía y observadas a simple vista en la carpeta asfáltica como son Piel de cocodrilo, Exudación, Fisuras en bloque, Fisuras longitudinales, Desprendimientos, Peladuras, Ahuellamiento y Fisuras Transversales.

Los pavimentos asfálticos o flexibles presentan una serie de fallas cuya prevención y/o corrección es abordada por operaciones de mantenimiento, las que suelen agruparse en tres categorías: operaciones rutinarias; operaciones periódicas y operaciones de restauración. Desconociendo el estado actual de la vía por métodos que nos ayuden a determinar el grado de colapso de la estructura vial.

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos pueden presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos. Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la sub rasante, en cuyo caso afecta toda la zona de la estructura del pavimento. Además, también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

La progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del hormigón, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre hormigones de pobre calidad, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso. Estas consideraciones antes planteadas serán tomadas en cuenta para; la determinación de deflexión y su influencia sobre la capa de rodadura del pavimento flexible en el presente trabajo de investigación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo se relaciona la deflexión y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo se relaciona el trafico (tipo- volumen) y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016?

¿Cómo se relaciona la sección estructural y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016?

¿Cómo se relaciona la temperatura & humedad y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016?

1.3. Justificación del estudio

El presente proyecto tiene como propósito fundamental analizar los niveles de deterioro del pavimento; en este caso pavimentos flexibles, porque este problema impide el libre tránsito de vehículos e induce al daño sociocultural y económico de la población.

Este proyecto se ha realizado para así buscar soluciones y así evitar, que se presenten fisuramientos, ahuellamientos y corrugamientos con mayor rapidez antes de su vida útil, para reducir los costos de mantenimiento y elevar el grado de serviciabilidad, permitiendo un mejor desempeño del tránsito vehicular. La metodología de diseño estructural de pavimentos considera cinco aspectos fundamentales:

- El tráfico.
- Las características del suelo de subrasante.
- Las capas de pavimento.
- La calidad en el proceso constructivo.
- El clima.

El trabajo que se realizará ayudará a mejorar los comportamientos de los esfuerzos y deformaciones y deflexiones de la estructura del pavimento flexible, para este análisis una estructura típica calculada por su tránsito vehicular, su tipo de sección estructural, y la temperatura que generara varios cambios en la etapa de diseño, cabe señalar que se realizará trabajos in - situ lo cual permitirá que este proyecto pueda contener la credibilidad de la realidad.

Como resultado del análisis se obtendrá las cargas de la deflexión y la influencia sobre la capa de rodadura del pavimento en la Avenida Santa Rosa. El aporte de este proyecto servirá de gran utilidad para los ingenieros viales, permitiendo saber el comportamiento de la capa de rodadura al ser sometida a variaciones en su deflexión, bajo el criterio de tomar sus características, su

sección, el tránsito, y el clima (medio ambiente) en que se estaría realizando el proyecto.

Servirá para el tránsito sea más fluido en toda la avenida Santa Rosa empezando desde la primera progresiva en estudio; y tomando un tramo de mejoramiento vial en partes donde su diseño todavía no alcanza la vida útil necesaria.

Hoy en día la práctica habitual considera la viabilidad de una actividad no sólo desde el punto de vista económico sino desde una perspectiva de sostenibilidad, incluyendo factores ambientales y sociales; Para realizar este tipo de análisis son necesarias nuevas herramientas de evaluación que contemplen todo el ciclo de vida del producto.

Dentro de éstas destaca el Análisis del Ciclo de Vida, herramienta que permite identificar y cuantificar la energía, los materiales usados y los residuos y emisiones producidos y, como consecuencia de ello, también diseñar y evaluar oportunidades de actuación ambiental.

La tarea de diseñar y construir pavimentos que puedan resistir las condiciones adversas a las que estarán expuestas, la búsqueda de soluciones originales. Ante la persistencia del deterioro del pavimento, a pesar del uso de una estructura con la adopción de cuidados especiales para el diseño y la construcción del pavimento. La tendencia es elaborar una solución adoptando una posición más realista, primero, buscando una solución más económica y, segundo, aceptando el deterioro como un hecho inevitable a costos razonables.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Conocer La deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016.

1.4.2. Objetivos específicos

Identificar el trafico (tipo- volumen) sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016.

Identificar la sección estructural sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016.

Identificar la temperatura y humedad sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima.2016.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema.

2.1.1. Antecedentes Nacionales.

Medina & De La Cruz (2015), en su Tesis titulada: *“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JR. JOSÉ GÁLVEZ DEL DISTRITO DE LINCE APLICANDO EL MÉTODO DEL PCI”*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

La presente tesis reporta la aplicación del método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en el Jr. José Gálvez. Exactamente 6929.25 m² o 842.20 metros lineales de pista de concreto asfáltico han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía. La tesina se ha dividido en seis capítulos. En el primer capítulo se titula planteamiento metodológico, donde se describe el problema, los objetivos, la justificación, la hipótesis y la metodología de trabajo a utilizar. En el segundo capítulo se define el concepto de pavimento, tipos, comportamiento de los pavimentos y termina con el tema de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

El tercer capítulo se describe en que consiste una evaluación de pavimentos y que tipos existen. El cuarto capítulo describe las fallas más comunes, los niveles de severidad, forma de medición y las medidas de reparación de los pavimentos flexibles. En el quinto capítulo se explica el método de PCI, dando una definición de este, los materiales e instrumentos usados, el procedimiento de inspección y el cálculo del PCI de un pavimento flexible. En el último capítulo se describe la zona de estudio y se presenta la aplicación del método del PCI a una vía. Se realiza un análisis a los resultados y se propone un presupuesto de mantenimiento y rehabilitación del pavimento evaluado. Se finaliza mediante las siguientes conclusiones.

- El estado del pavimento flexible del Jr. José Gálvez es regular para las secciones identificadas. El pavimento flexible del Jr. José Gálvez actualmente está apto para brindar adecuadas condiciones para los usuarios.
- Las condiciones de pavimento malo, regular y bueno predominan en el Jr. José Gálvez. Siendo la condición mala la de mayor proporción con 39%, seguido con 26% el estado regular y 22% el estado bueno. El resto de condiciones se presentan en proporciones menores o igual a 5%. No existiendo ningunas unidades de muestra en condiciones de excelente.
- Las fallas identificadas en la vía evaluada son las siguientes: Piel de cocodrilo, fisura en bloque, fisuras longitudinal y transversal, parches y corte utilitario, agregado pulido, huecos o baches, ahuellamiento y por último peladura por interperismo y desprendimiento de agregados.
- El costo de mantenimiento y rehabilitación del Jr. José Gálvez evaluado es de 135534.27 nuevos soles, con lo cual se logra pasar el pavimento de una condición regular a excelente.
- El ratio de costo por m² de área del Jr. José Gálvez evaluado para pasar el pavimento de una condición regular a excelente es de 19.56 nuevos soles/m².

Gonzales (2015), en su Tesis titulada “*FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR, CAJAMARCA, 2015*” Universidad Privada del Norte.

La presente tesis tiene como objetivo evaluar el estado del pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur comprendido entre el óvalo musical y la avenida industrial de la ciudad de Cajamarca, que ha sido inspeccionado para identificar y clasificar las fallas, el grado de severidad asociado según los formatos de inspección y establecer unas posibles

propuestas de mantenimiento; Fue necesario una serie de procedimientos que permitieron llegar al éxito de la investigación, desde conocer el tipo de tránsito vehicular y el uso de los formatos para la recolección de datos que permitieron la clasificación de cada tipo de falla en cada tramo analizado, además del grado de severidad asociado (baja, media y alta) y el área que afectó cada uno de estos tipos; Una vez tomados todos los datos en la vía, se procedió a organizarlos según tipo de fallas, área afectada respecto al total del área de la vía analizada, por severidad y por la cantidad de tipo de fallas.

Todo esto para conocer el estado del pavimento e identificar las fallas funcionales para proponer medidas de mantenimiento y de esa forma evitar que se conviertan en fallas estructurales, ya que estas últimas afectan la confiabilidad del pavimento; Finalmente, la inspección del pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur mediante formatos para pavimentos flexibles, se concluyó que la falla con severidad baja a lo largo de toda la vía es la de parche (PCH) con 198 veces repetidas y un área de 287.74 metros cuadrados; Llegando a las siguientes conclusiones:

- Se han determinado que las fallas en el pavimento flexible de la Avenida Vía de evitamiento sur si son de severidad baja, siendo el más repetitivo parche (PCH), con una incidencia de 278.74 metros cuadrados.
- Se logró evaluar, por medio de formatos de inspección para pavimentos flexibles, la avenida vía de evitamiento sur entre el óvalo musical y la avenida industrial de la ciudad de Cajamarca en el año 2015, permitiendo concluir que 929.88 metros cuadrados, el 2.66 % del total evaluado, presenta fallas de diferente tipo, siendo la de parches (PCH) la que presenta mayor cantidad de repeticiones con 198 veces.
- Se describió las fallas que se encuentran en el pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur entre el óvalo musical y la avenida industrial de la ciudad de Cajamarca, año 2015, encontrándose 78 fisuras longitudinales (FL), con posibles causas de encontrarse en zonas de

contacto por diferencias de rigidez, riego insuficiente de liga o espesor insuficiente de capa de rodadura; 15 fisuras transversales (FT), pudiendo darse por causas similares a la anterior falla de fisura longitudinal, además de envejecimiento del asfalto; 168 hundimientos (HUN), con posibles causas de asentamiento de subrasante, deficiente compactación en capas inferiores o deficiente drenaje; 198 parches (PCH), con posibles causas de procesos constructivos deficientes, deficiencia en las juntas, propagación de daños existentes en las áreas aledañas a parche o ineficiente parcheo; 40 baches (BCH), con posibles causas de retención de agua en zonas fisuradas, algunos defectos constructivos o deficiente espesor de capa de rodadura; 64 piel de cocodrilo (PC), con posibles causas de espesor estructural insuficiente, deformaciones de la subrasante, problemas de drenaje o deficiente mezcla asfáltica; 15 descascaramiento (DC), con posibles causas de espesor insuficiente de capa asfáltica, riego de liga inadecuado, mezcla asfáltica muy permeable; 3 falla bloque (FB), con posibles causas de variaciones de temperatura; y 3 desgaste superficial (DSU), con posibles causas de falta de adherencia de asfalto con agregados.

- El pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur entre el óvalo musical y la avenida industria presente fallas con severidad baja, siendo el de tipo parche (PCH) el que más se presenta con 278.74 m² media, siendo los que más se presentan de parche (PCH) con 187.26 m² y descascaramiento (DC) con 164.26 m² y alta, siendo los que más se presentan de hundimiento (HUN) con 46.05 m² y parche (PCH) con 53.95 m².
- El pavimento evaluado necesita urgentemente las siguientes posibles medidas de reparación: relleno de grietas con emulsiones asfálticas, nivelación dependiendo de la magnitud de la deformación en el caso de parches y bacheo con mezcla asfáltica cuando el pavimento ha sido destruido por el tránsito en el caso de baches y hundimientos.

Rodríguez (2009), en su Tesis titulada: *“CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. LUIS MONTERO, DISTRITO DE CASTILLA”*, Universidad de Piura.

La presente tesis tiene como objetivo aplicar el método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Luis Montero. Mil doscientos metros lineales de pista han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía. La tesis se ha dividido en cinco capítulos.

El primero es el marco teórico, donde se define el concepto de pavimento, su clasificación y se explica la problemática que se vive en Piura.

El segundo capítulo trata de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles.

En el tercero, se explica el procedimiento del método: el muestreo de unidades, el cálculo del PCI, los criterios de inspección, etc.

En el capítulo cuatro, se describe la zona de estudio y se detalla el procedimiento de inspección realizado.

En el último capítulo se presentan las hojas de registro, con el respectivo cálculo del índice de condición de pavimento para cada unidad de muestra analizada.

Se concluye que la Av. Luis Montero tiene un pavimento de estado regular, con un PCI ponderado igual a 49. Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 que han aminorado la formación de fallas estructurales, dañinas para el pavimento.

La mayoría de las fallas fueron fallas de tipo funcional, que no afectan al tránsito normal de vehículos, no es necesario disminuir la velocidad libre y no son percibidas por el conductor, pues no causan daños estructurales

Finalmente, aunque no es objetivo de la tesis, se han recomendado algunas técnicas de reparación, de acuerdo a las fallas detectadas, para restituir la carretera a su estado original, se concluye.

- El estado del pavimento de cada unidad de muestra define la condición del pavimento de las secciones y de los tramos. Las secciones 1 y 4, obtuvieron un PCI de 51 y 43 respectivamente, lo que corresponde a un estado regular. Las demás secciones alcanzaron un PCI de 60 (sección 2) y 56 (sección 3), que quiere decir un pavimento de condición buena.
- Agrupando los resultados en tramos, el tramo 1 (U1 - U16) presenta un PCI de 56, pavimento bueno; y el tramo 2 (U17-U32), un PCI de 43, pavimento regular. Finalmente, tomando todas las unidades de muestra sin distinción de tramos, se calcula el PCI ponderado de los 1200 metros de la Av. Luis Montero, resultado igual a 49, es decir, que el estado real del pavimento de la vía analizada es regular.
- Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 (bacheos y riego de liga en determinadas áreas) que han aminorado la formación de fallas como fisuras, baches, depresiones, etc. mejorado la calidad del pavimento. Esto también ayudó a que no se registraran fallas como piel de cocodrilo, que suelen ser muy dañinas para el pavimento.
- Se ha determinado el estado en que se encuentra la red de pavimento flexible de la Av. Luis Montero, que consta de dos tramos de 600 metros lineales cada uno (de acuerdo a los dos sentidos de vía existentes). El tramo 1 se divide en 3 secciones, mientras que el tramo 2 tiene una sola sección. Se inspeccionaron un total de 32 unidades de muestra (16 por tramo)

obteniendo los siguientes resultados (ver gráfico 5.1): El 37% del total de unidades de muestra inspeccionadas presentan un estado de pavimento regular (PCI entre 40 y 55); después le sigue un 33% de unidades en buen estado (PCI entre 55 y 70); un 15%, en estado malo (PCI entre 25 y 40) y un 9% de muy mala condición (PCI entre 10 y 25). Finalmente, un 6% hace referencia a unidades de muestra con un pavimento de muy buen estado (PCI entre 70 y 85). No se encontraron pavimentos fallados (PCI entre 0 y 10) ni excelentes (PCI entre 85 y 100). Porcentaje de unidades de muestra con un estado de pavimento muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno.

- Las fallas más frecuentes encontradas son la peladura y la corrugación, ambas de nivel de severidad bajo. Las 32 unidades de muestra presentaron estos dos tipos de falla, pero con densidades variables. Esto ayudó a que el PCI tenga un estado regular porque estas fallas no afectan al tránsito normal de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad. La peladura y la corrugación no son percibidas por el conductor, pues no causa incomodidad.
- A mayor valor deducido, mayor es el daño que las fallas producen al pavimento pues este valor indica el grado en que cada combinación de deterioro, nivel de severidad y cantidad, afectan a la condición del mismo. Por el contrario, un valor deducido de cero, quiere decir que el tamaño de la falla dentro de la unidad de muestra es despreciable, o muy pequeña como para ejercer un daño significativo al área de estudio. Los baches de mediana severidad de la unidad de muestra U25, originan el máximo valor deducido registrado de 61.7. Le siguen los baches de severidad alta de las unidades U14 y U20, con un valor deducido de 49.9. Por último, en la unidad de muestra U7, la depresión de mediana severidad tiene un valor deducido de 42.5 y de igual manera es una de las tres fallas que más afecta al pavimento. Las densidades más bajas registradas fueron de los parches de baja severidad localizados en las unidades de muestra U7, U9 con valores de 0.004% y U3 con 0.005%. Además, con densidades de 0.01% se

encontraron desplazamientos y fisuras parabólicas ambas de baja severidad, en las unidades U3 y U15 respectivamente.

- Para mejorar el PCI promedio de una sección, de un tramo o de la avenida en general, es necesario incrementar el PCI individual de las unidades de muestra en peor estado a través de determinadas técnicas de reparación. En la tabla 1, se presenta un resumen de las unidades de muestra en peor estado (PCI < 40), con las fallas que mayor daño producen al pavimento. 9% de muy mala condición (PCI entre 10 y 25). Finalmente, un 6% hace referencia a unidades de muestra con un pavimento de muy buen estado (PCI entre 70 y 85). No se encontraron pavimentos fallados (PCI entre 0 y 10) ni excelentes (PCI entre 85 y 100).



Figura 01: Porcentaje de unidades de muestra con un estado de pavimento muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno

Fuente: PIRHUA - Universidad de Piura

- Las fallas más frecuentes encontradas son la peladura y la corrugación, ambas de nivel de severidad bajo. Todas las 32 unidades de muestra presentaron estos dos tipos de falla, pero con densidades variables. Esto ayudó a que el PCI tenga un estado regular porque estas fallas no afectan al tránsito normal de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad. La peladura y la corrugación no son percibidas por el conductor, pues no causa incomodidad.

- A mayor valor deducido, mayor es el daño que las fallas producen al pavimento pues este valor indica el grado en que cada combinación de deterioro, nivel de severidad y cantidad, afectan a la condición del mismo. Por el contrario, un valor deducido de cero, quiere decir que el tamaño de la falla dentro de la unidad de muestra es despreciable, o muy pequeña como para ejercer un daño significativo al área de estudio. Los baches de mediana severidad de la unidad de muestra U25, originan el máximo valor deducido registrado de 61.7. Le siguen los baches de severidad alta de las unidades U14 y U20, con un valor deducido de 49.9. Por último, en la unidad de muestra U7, la depresión de mediana severidad tiene un valor deducido de 42.5 y de igual manera es una de las tres fallas que más afecta al pavimento. Las densidades más bajas registradas fueron de los parches de baja severidad localizados en las unidades de muestra U7, U9 con valores de 0.004% y U3 con 0.005%. Además, con densidades de 0.01% se encontraron desplazamientos y fisuras parabólicas ambas de baja severidad, en las unidades U3 y U15 respectivamente.
- Para mejorar el PCI promedio de una sección, de un tramo o de la avenida en general, es necesario incrementar el PCI individual de las unidades de muestra en peor estado a través de determinadas técnicas de reparación. En la tabla 1, se presenta un resumen de las unidades de muestra en peor estado ($PCI < 40$), con las fallas que mayor daño producen al pavimento.

Cuadro N 01: Unidades de muestra en estado malo y muy malo

Unidad de muestra	Progresivas	Fallas	Severidad	Cantidad
U14	0 + 487.5 0 + 525.0	13. Baches	Alta	2 baches
		6. Depresión	Baja	37.10 m2
		5. Corrugación	Baja	53.80 m2
U19	0 + 675.0 0 + 712.5	11. Parches	Alta	3.00 ml
		4. Abultamientos y hundimientos	Alta	7.26 m2
		5. Corrugación	Baja	65.00 m2
U20	0 + 712.5 0 + 750.0	11. Parches	Alta	2 baches
		13. Baches	Media	3.60 baches
		5. Corrugación	Baja	73.80 m2
U22	0 + 787.5 0 + 825.0	6. Depresión	Baja	94.25 m2
		13. Baches	Alta	1 bache
		5. Corrugación	Baja	155.55 m2
U23	0 + 825.0 0 + 862.5	13. Baches	Media	4 bache
		13. Baches	Alta	1 bache
		6. Depresión	Baja	59.85 m2
		5. Corrugación	Baja	198.25 m2
U24	0 + 862.5 0 + 900.0	6. Depresión	Baja	59.85 m2
		5. Corrugación	Baja	201.30m2
		6. Depresión	Baja	70.00m2
U25	0 + 900.0 0 + 937.5	13. Baches	Media	9 baches
		6. Depresión	Baja	73.13 m2
		11. Parches	Alta	6.55 m2
		5. Corrugación	Baja	106.75 m2
U26	0 + 937.5 0 + 975.0	18. Peladura	Baja	50.00 m2
		6. Depresión	Baja	134.50 m2
		5. Corrugación	Baja	195.20 m2

Fuente: PIRHUA – Universidad de Piura

- En aquellas unidades de muestra donde se encontraron fallas estructurales (tales como baches, todo tipo de fisuras, depresiones y parches) con densidades mayores a 0.1% como mínimo, el valor del PCI obtenido fue bajo, es decir, el estado del pavimento era malo. No importa el nivel de severidad que tenga, incluso un nivel bajo causa un daño significativo a la pista. Este tipo de fallas afectan tanto a la estructura del pavimento (capas del paquete estructural) como a la serviciabilidad del mismo, pues el usuario no se siente cómodo ni seguro, al transitar sobre el pavimento deteriorado.
- En las unidades de muestra donde se encontraron fallas funcionales (exudación, peladura), es necesario que las densidades sean elevadas y las fallas de alta intensidad, para que influyan en el deterioro del pavimento. Por el mismo hecho de ser fallas funcionales, es decir, de afectar sólo la serviciabilidad de la vía, no producen daño importante en las capas del paquete estructural. Si una falla funcional de baja severidad afecta a toda una unidad de muestra, el usuario puede transitar sobre el pavimento, sin mucha incoas técnicas más apropiadas, a aplicar en las unidades de muestra anteriores serían: bacheo para baches profundos y depresiones, y un reemplazo de los parches deteriorados. Si se desea mejorar aún más la condición de la avenida se debe aplicar un riego de liga para reparar el problema de la corrugación y peladura, que son las fallas más frecuentes. Dentro de los tipos de riego que pueden ser aplicados a este pavimento en particular, se encuentran las lechadas asfálticas o Slurry Seal y el riego pulverizado, también llamado Fog Seal. Ambos se pueden usar como procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento, para el tratamiento de vías urbanas. Una lechada asfáltica es la combinación de agregado bien graduado con emulsión asfáltica, agua, filler y aditivos (en caso sean necesarios); la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger la carpeta. Con esta técnica se corrigen irregularidades superficiales menores (corrugaciones), se evita el desprendimiento de agregados y peladura, se mejora la resistencia al deslizamiento, se impermeabiliza la superficie del pavimento y se proporciona una superficie

muy resistente al desgaste. Un riego pulverizado, en cambio, es la aplicación ligera de una emulsión asfáltica a la superficie de un pavimento, pero sin el uso de agregados. Se utiliza principalmente para sellar superficies del pavimento.

Aliaga (2003), en su Tesis titulada: *“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CORRAL QUEMADO – RIO NIEVA TRAMO 1”* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

La presente tesis reporta que la carretera Puerto Naranjitos – Puente Corontachaca forma parte de la carretera Corral Quemado – Río Nieva, específicamente del Tramo I: Corral Quemado – Pedro Ruiz y constituye el acceso principal a la Selva Nor-Oriental del Perú, lo que determina la gran importancia de su transitabilidad.

El área de estudio se ubica a ESE de Bagua Grande; desde Puerto Naranjitos (Km. 259 + 000) a Puente Corontachaca (Km. 299 + 000) con una longitud total de 40 Km.

Los efectos del fenómeno del Niño 1997 – 1998 y de las intensas lluvias que se han producido en la zona, durante los meses de febrero y marzo del año de 1999, ha ocasionado daños de consideración en diferentes tramos recientemente terminados de la carretera Corral Quemado – Río Nieva, específicamente en el Tramo I: Corral Quemado – Pedro Ruiz, dentro del sector comprendido entre el Km. 259 y el Km. 299 (próximo al Puente Corontachaca sobre el río Utcubamba). En general, los daños que se han generado han consistido en un aluvión (huayco) de grandes dimensiones en la quebrada El Tingo (Km. 288+800) el mismo que ha ocasionado la destrucción total del puente de concreto armado de 14.0 mts. de luz.

El río Utcubamba que discurre en forma paralela a la carretera en el sector mencionado ha afectado por erosión la plataforma de la misma en diferentes sectores.

Además de los daños mencionados, se han producido asentamientos de la plataforma asfaltada y terraplenes, deslizamientos, derrumbes y otros daños en diferentes progresivas en el sector antes especificado. Ante tal evidente problema, se ha creído por conveniente realizar el estudio “Geológico Geotécnico para la Rehabilitación de la Carretera Naranjitos – Pedro Ruiz”. En cumplimiento de los requerimientos, objetivos trazados y términos de referencia pertinentes, se ha ejecutado los siguientes trabajos:

- Recopilación y análisis de la información existente.
- Reconocimiento integral en el campo.
- Trabajos de topografía

La evaluación de las condiciones naturales y el diagnóstico de los fenómenos y eventos ha permitido clasificar todas las deformaciones de la carretera en dos tipos principales:

A todo lo largo del sector del estudio se presentan deformaciones de carácter local, tales como inestabilidad de taludes superiores e inferiores, socavación de riberas, destrucción de pavimento y obras de arte (muros de contención, alcantarillas, etc.), el desarrollo de las cuales se relaciona con procesos naturales y con procesos constructivos. En los tramos 270 – 273; 274 – 275; 277 278; 292 – 294; 296 – 299, este tipo de fenómenos y eventos se presenta como único y/o dominante. En los tramos Km 259 – 270; 273; 275 – 276; 289 – 294; 294 – 296, como fenómeno dominante se presenta deformaciones de gran magnitud, tales como deslizamientos antiguos activados episódicamente por condiciones climatológicas extraordinarias (Fenómeno de El Niño, épocas de lluvias intensas). Los trabajos ejecutados durante la etapa de investigación se pueden resumir de la siguiente manera:

- Recopilación y análisis de la información existente, incluyendo estudios anteriores, Carta Geológica Nacional 1:100 000, información de satélite, estudios especiales, etc.
- Reconocimiento del sector de estudio (Naranjitos – Corontachaca), como parte del reconocimiento integral y reconocimiento específico Geotécnico del sector del estudio, incluyendo la evaluación de los principales aspectos de las condiciones geológicas y geotécnicas, la evaluación del estado de la carretera y el inventario de las deformaciones de la misma relacionadas con factores geológicos y geotécnicos.
- Mapeo geológico–estructural del sector basado en la información del satélite, Carta Geológica Nacional 1:100 000, resultados de reconocimiento geotécnico y a las observaciones directas en el campo. Los resultados del mapeo se presentan en el mapa geológico – estructural (1:50 000).
- Excavación de calicatas y trincheras con extracción de muestras para ensayos en laboratorio. Los metrados ejecutados hasta la fecha son:

Excavación de calicatas:	52 calicatas, 141.0 ml
Excavación de trincheras:	34 trincheras, 256.09 m ³

- Ensayos estándar y especiales de laboratorio de las diferentes muestras de suelos extraídos de las calicatas, trincheras y pozos, cuyo resumen se describe de la siguiente manera:

Granulometría por Tamizado:	55 ensayos
Granulometría por Sedimentación:	55 ensayos
Límites de Atterberg:	55 ensayos
Humedad Natural:	55 ensayos
Ensayo de Corte Directo:	23 ensayos

Ensayos de Expansión y Consolidación: ensayos	17
Ensayos Triaxiales:	9 ensayos
Permeabilidad:	6 ensayos

Como objetivo se obtiene la información Geológica y geotécnica, incluyendo información litoestratigráfica, geomorfológica, estructural y geodinámica; a fin de

Permitir la evaluación Geotécnica de la zona del Proyecto.

- Determinar los fenómenos y eventos de origen geológico, clasificar los problemas y elaborar las recomendaciones principales para su solución.
- Identificación de los tramos que presentan mayores problemas geológicos, con la finalidad de formular la implementación de obras de ingeniería, para evitarlas, minimizarlas o adecuarlas a la problemática existente, mediante diseños específicos. Elaborar las investigaciones y ensayos necesarios para sustentar los diseños y estudios necesarios para la rehabilitación de la carretera.

Huamán (2011), en su Tesis titulada: *“LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ”*, Universidad Nacional de Ingeniería.

La presente tesis reporta que en los últimos 17 años el Perú ha impulsado una política favorable para la Construcción de Obras Viales a lo largo y ancho del territorio, habiéndose ejecutado más de 15,000 kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos, según reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La dinámica se manifiesta en obras importantes como las carreteras interoceánicas que atraviesan transversalmente el territorio peruano por el norte, centro y sur. La

Interoceánica Sur, parte de límites con Brasil terminando en puertos marítimos del Océano Pacífico; interconectando de esta manera pueblos del Perú y permitiendo que Brasil tenga salida al mar hacia los mercados orientales. Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin de que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados. El presente trabajo de investigación bibliográfica se refiere a la deformación permanente que es una de las fallas del deterioro prematuro; es necesario conocer a mayor profundidad a fin de tomar las previsiones del caso desde la elaboración de los proyectos y la posterior ejecución de las obras. El estudio presenta el concepto de la deformación permanente y las diferentes formas que se presenta en las capas del pavimento e inclusive a nivel de subrasante, originando tanto fallas funcionales como estructurales; profundizando además sobre el conocimiento del cemento asfáltico y básicamente sobre su comportamiento geológico que nos permita utilizarlo mejor como parte constituyente de las mezclas asfálticas. Asimismo, se considera la necesidad de la elección y buen manejo de los agregados en cuanto a su gradación, forma, resistencia, etc. Ya que influyen en forma determinante para la deformación permanente.

Finalmente, se determina la necesidad que en el Perú se cuente con equipos de laboratorio y de campo que permitan realizar ensayos para manejar mejor la deformación permanente. Se presentan los ensayos y equipos especializados que se utilizan en otros países en la espera de contar con alguno de ellos en el Perú; concluyéndose sobre la necesidad de efectuar estudios más profundos para el uso de los cementos asfálticos en acuerdo a la geografía y climas de las regiones del Perú; asimismo respecto a los parámetros volumétricos en el diseño de la mezcla asfáltica y la utilización de los agregados, destacándose además la importancia de los procesos constructivos que eviten fallas por deformación permanente, se concluye.

- Por la geografía que presenta el territorio peruano, existen altas temperaturas en diversas zonas como son en la selva alta y baja; así como

en la franja costera de aproximadamente 3,000 kms. a lo largo del Océano Pacífico, especialmente en la estación del verano, alcanzando temperaturas que inclusive alcanzan los 40°C bajo sombra. Estas altas temperaturas originan por lo tanto que las carpetas asfálticas sean sometidas a temperaturas muy altas, haciéndolas proclives a la falla por deformación permanente, como consecuencia de la susceptibilidad térmica que por constitución química está presente en el asfalto.

- Por lo indicado se debe hacer una correcta elección del tipo de ligante asfáltico de acuerdo con la zona donde será colocada la mezcla asfáltica, para evitar que la temperatura influya en gran medida en la deformabilidad de la mezcla, entre menos susceptible a la temperatura sea el ligante asfáltico, más resistente a la deformación plástica será la mezcla a altas temperaturas. Se desean mayormente asfaltos que presenten una alta viscosidad y una baja susceptibilidad a la temperatura. Por otro lado, contenidos de asfalto excesivos pueden generar deformaciones plásticas en la mezcla asfáltica más aún en zonas de altas temperaturas y porcentajes deficitarios falta de adherencia y cohesión entre el ligante asfáltico y los agregados produciendo el debilitamiento estructural de la carpeta asfáltica y la consecuente falla de la misma.

- Como estas fallas son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes, es necesario incrementar la resistencia de las mezclas no sólo utilizando cemento asfáltico más viscoso, sino un tipo de asfalto que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento y así tenga una mejor recuperación elástica que evite la acumulación de deformaciones plásticas permanentes. Así, cuando se aplique la carga, el cemento asfáltico actuará como una banda elástica recuperando su posición original luego del paso de la carga en lugar de deformarse.

- Cuando se evalúan las causas de deformación permanente, las propiedades volumétricas de la mezcla asfálticas tienen un rol fundamental. Dentro de los parámetros volumétricos, en ocasiones se recomienda

disminuir el contenido de asfalto de las mezclas, mediante el manejo de la granulometría del agregado y valores bajos en el contenido de vacíos

- El contenido de vacíos de aire influye en la deformación permanente, ya que un porcentaje alto de contenido de vacíos puede implicar una deficiente compactación de la carpeta asfáltica y por lo tanto la posibilidad que se presenten fallas de asentamiento o ahuellamiento de tipo estructural pudiendo ser el resultado de un mal proceso constructivo; por otro lado un bajo contenido de vacíos pueden generar exudación del cemento asfáltico en zonas de altas temperaturas ocasionando el desplazamiento de la mezcla asfáltica en la parte superior de la carpeta, pudiendo luego producirse ahuellamiento por deformación plástica.
- Se mejora la resistencia al corte en las mezclas asfálticas, seleccionando un agregado que tenga un alto grado de fricción interna, uno que sea de forma cúbica, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. Agregados con un alto grado de fricción interna mejoran la resistencia de la mezcla al corte y cuando actúan en forma conjunta el cemento asfáltico de una manera integral, permiten que cuando se aplica una carga a la mezcla asfáltica, ésta actúe como una banda elástica recuperando su forma original al pasar la carga, evitando de esta forma la acumulación de deformación permanente.
- Hay que considerar que la deformación permanente por fallas en la subrasante, o en las capas de base o sub base bajo la capa de asfalto pueden originarse por una incorrecta selección de materiales. Sin embargo, si bien es cierto que materiales “duros” de mejor calidad pueden reducir parcialmente esta causa de deformación permanente, esta situación es considerada un problema estructural del pavimento como conjunto más que de los materiales individuales. Esencialmente, el pavimento no tiene la capacidad estructural para soportar las cargas aplicadas; debido a la presencia de las capas débiles en la estructura del pavimento. Es por eso que debe cuidarse de un correcto diseño de la estructura del pavimento

estudiando cuidadosamente las cargas, suelos de fundación y de subrasante, clima, entre otros parámetros.

- Una compactación eficiente de la mezcla asfáltica, con el equipo de construcción adecuado y a una temperatura dentro del rango aceptable de compactación, ayuda a prevenir la formación de ahuellamientos. Evitar la segregación de la mezcla asfáltica durante el transporte y el extendido de la mezcla es un factor favorable para la estabilidad de la mezcla evitando la deformación de la misma.

- Una compactación eficiente implica utilizar equipos de compactación (rodillos lisos y neumáticos) con pesos que correspondan al espesor de la capa asfáltica, número de pasadas necesarias que permitan alcanzar la densidad de compactación según lo establecido por el diseño Marshall. Asimismo, la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica no debe ser menor a los 110°C y en lo posible debe colocarse a una temperatura uniforme para evitar segregación por temperatura

.

- Ante la necesidad de evitar por lo menos en parte que se produzcan fallas por deformación permanente en los pavimentos asfálticos, el autor como resultado de la investigación bibliográfica y experiencia profesional, recomienda se tomen las siguientes acciones:

a) Tener cuidado en la selección, diseño y verificación de la calidad de los agregados con que se fabrican las mezclas asfálticas, considerando que éstos conforman el esqueleto estructural del pavimento en su conjunto y por lo tanto su respuesta para resistir las cargas de los vehículos es determinante para una mayor durabilidad del mismo, evitando de esta manera la falla por deformación permanente. Las Especificaciones Técnicas Generales EG 2000 publicadas en el Perú el año 2000 y que se encuentran vigentes deben incorporar los resultados de las investigaciones, estudios y experiencias de los últimos años; en particular lo referente a los

requerimientos de los agregados por clasificación convencional y Superpave que se encuentra en las Tablas entre la 410-1 y 410-8 de este documento

b) En cuanto a los cementos asfálticos utilizados en el Perú es conveniente tener en cuenta que si bien es cierto la Tabla 400 -1 de las EG2000 (especificaciones generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú), norma el uso de estos ligantes según temperatura media anual de la zona en función a su clasificación por penetración, esta no es suficiente, tal como lo demuestran los estudios sobre la reología del asfalto y por ello se recomienda la clasificación por PG ó Grado de Performance a través de la tecnología Superpave. También existe la necesidad de realizar estudios de investigación referidos al uso de asfaltos modificados en departamentos como Loreto, Ucayali, San Martín, Madre de Dios en la parte de selva y en toda la zona costera de los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna; regiones en las que por sus climas pueden ser de necesidad el uso de estos modificadores para neutralizar las fallas por deformación permanente. Según últimas experiencias en el Perú se vienen utilizando como modificadores de asfalto polímeros tipo SBS, SBR y EVA, así como emulsiones asfálticas modificadas con polímeros. En las zonas no consideradas también podrían utilizarse asfaltos modificados con polímeros, pero más con criterios de protección del modificador al ligante asfáltico, ante los agentes externos como son el agua, oxígeno, rayos solares, y otros con la intención de obtener una mezcla asfáltica más durable.

Cuadro N 02: 400 – 1 – EG 2000

Tipo de cemento asfáltico utilizado según penetración en el Perú

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 – 50 ó		85 – 100	Asfalto
60 - 70	60-70	120 - 150	Modificado
Modificado			

Fuente: Especificaciones Generales EG – 2000. MTC

c) Es importante que las instituciones públicas y privadas del Perú que orientan sus actividades a esta tecnología adquieran equipos de laboratorio de acuerdo a los nuevos avances, que permitan mejorar la selección de los materiales y efectuar los diseños más convenientes que aseguren un mejor comportamiento del pavimento ante las deformaciones permanentes. Esto implica la impostergable necesidad que se actualice la normatividad vigente en la que se incluya nuevas especificaciones técnicas y nuevos ensayos de laboratorio que permitirán la utilización de asfaltos modificados con polímeros o con polvo caucho y aplicación del Sistema Superpave. Todo esto deberá ser producto de investigación y adecuación de la realidad de nuestros pavimentos a las exigencias de nuestro medio.

d) Es conveniente que las Universidades del Perú que cuentan con facultades de Ingeniería Civil; incluyan en sus sílabos cursos de ingeniería de pavimentos, así como adquirir equipos de laboratorio y de campo de última generación que les permita formar profesionales en esta especialidad a través de trabajos de investigación en laboratorios y en situ.

e) Se recomienda la capacitación a nivel nacional e internacional de los profesionales de la actividad pública y privada que trabajan en esta especialidad de la Ingeniería Civil; esto puede lograrse con la decisión política del estado a través de sus funcionarios, el mismo que debe invertir para mejorar esta tecnología que tanto requiere el país. Igual actitud debe tomar la empresa privada, ya que de esta manera los proyectos y obras serán mejor manejadas y los resultados definitivamente favorecerán al desarrollo del país.

Gómez (2014), en su Tesis titulada: *“DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL ANILLO VIAL DEL ÓVALO GRAU”*, Universidad Privada Antenor Orrego.

La presenta tesis reporta que, en la actualidad, se ha originado el incremento del parque automotriz en nuestra ciudad, y por ende La Municipalidad de Trujillo viene ejecutando la obra “Creación del intercambio vial del Óvalo Grau”. Esta nueva obra de infraestructura vial urbana consiste en un viaducto elevado de 60 metros de largo por una rampa y un total de 450

metros de longitud que siguen la trayectoria de la Avenida América Sur, efectuándose los trabajos de demolición de toda la antigua construcción del pavimento actual en el anillo vial para hacer realidad el paso a desnivel del Óvalo Grau.

El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito.

La metodología permitió establecer los métodos y técnicas que van relacionados con la durabilidad que está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desea dar al anillo vial depende de la importancia de este.

Para la concepción del proyecto vial, se ha tomado en cuenta los volúmenes de tránsito existentes, las proyecciones de los mismos y el aspecto estético del proyecto integral, de modo que se pueda solucionar así los movimientos vehiculares en todos los sentidos. Las avenidas involucradas en el estudio por la importancia que han adquirido merecen un tratamiento especial toda vez que canalizan gran parte del tránsito. La presente tesis pretende determinar los criterios estructurales según normas y metodologías para diseñar la estructura de un pavimento flexible y así lograr un eficiente nivel de transitabilidad mejorando las condiciones de vida de la población en toda la zona de influencia. Concluyendo que:

- El Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible, del presente proyecto, obedece a parámetros del comportamiento del lugar de emplazamiento, tomando como variables de entrada, la caracterización del tránsito, las propiedades mecánicas de los materiales y del terreno de fundación, las condiciones climáticas, las condiciones de drenaje y los niveles de serviciabilidad y confiabilidad.

- En el método AASTHO – 93, el cálculo del espesor de la estructura del pavimento relaciona las variables, considerando principalmente los Factores de Equivalentes de ejes tipo de 80 Km o 18 Kips o ESALs y el Módulo Resiliente de la Subrasante MR.
- El procedimiento a seguir para obtener el número estructural SN, es iterativo, de donde se obtiene el espesor de cada capa que forman en paquete estructural del pavimento. Este procedimiento tiende a obtener valores elevados del número estructural en capas superiores, obteniendo un espesor reducido en la capa sub-base, lo que implica un mayor costo en la conformación del paquete estructural.
- Concluimos indicando, que, dentro del diseño del Pavimento Flexible, siguiendo las recomendaciones del método AASTHO - 93 se tiene la siguiente estructura:

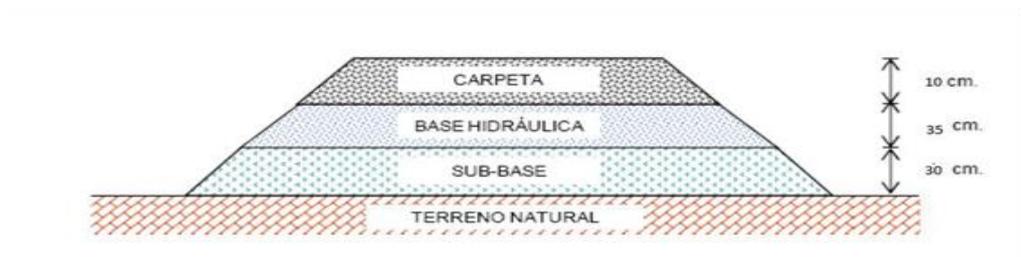


Figura 02: Estructura del pavimento

Estructura general del pavimento, detalla los espesores de sus capas

Fuente: Método AASHTO – 93

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Iván Montes & Julio Palacios (2013), en su tesis Titulada: *“LA IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO”*, Universidad Nacional Autónoma de México.

La presente tesis reporta Para México y todo el mundo la infraestructura del transporte constituye un elemento detonante e indispensable para el crecimiento económico, la competitividad y la integración social. Un ejemplo claro de lo anterior es la infraestructura del transporte carretero, ya que en la medida que se amplía su cobertura y se mejora su estado físico, los tiempos de viaje se acortan, la seguridad y la comodidad se incrementan y, en consecuencia, se generan importantes ahorros y beneficios para los usuarios, lo que deriva en efectos favorables para la economía y el bienestar social.

La principal función del transporte carretero es permitir la comunicación y el intercambio de bienes y servicios entre regiones. En México es el principal modo para el desplazamiento de pasajeros y productos a través del territorio nacional, lo cual lo convierte en un instrumento básico para la integración del espacio económico y social del país, provocando que todos los sectores de la economía sean beneficiados: el agrícola, el ganadero, el industrial, el comercial, el turístico y el energético.

Sin embargo, a pesar de que la cobertura del sistema carretero ha ido creciendo en los últimos años es importante tomar en cuenta que el crecimiento de la economía y del ingreso, las tendencias demográficas, la necesidad de contar con servicios de transporte cada vez más eficientes y confiables en todo el territorio, permiten anticipar que la demanda nacional de transporte por carretera seguirá creciendo en todas las regiones del país.

Por esta razón, uno de los principales objetivos de México es lograr una amplia cobertura, calidad y seguridad en las vías de comunicación a nivel nacional, elevando las prioridades del desarrollo de las comunidades rurales, el uso eficiente de los recursos, la protección al medio ambiente y el desarrollo de proyectos eficientes que integren los estados del país mediante entronques, distribuidores y libramientos, además de fomentar el empleo temporal en las zonas beneficiadas.

Por otro lado, dadas las limitaciones presupuestales que afectan y seguirán afectando al subsector, pueden causar rezagos en la infraestructura del país, lo cual afectaría en la calidad de vida de la población y reduciría la competitividad económica debido a que no se invertiría lo suficiente. Por ello, cada vez es más importante diseñar e instrumentar esquemas de financiamiento, además de mejorar los ya existentes que, con la participación del sector privado y de gobiernos estatales y municipales se permita el desarrollo de proyectos de infraestructura carretera y se impulse la generación de oportunidades y empleos, Se concluye que:

- La realización de este trabajo tuvo la finalidad de ejemplificar la importancia de las carreteras en buen estado, así como sus beneficios a la sociedad, a la economía y al medio ambiente principalmente.
- Los beneficios que se adquieren al mantener las carreteras en buen estado son: abatir los costos de operación vehicular, aumentar la seguridad y la comodidad de los usuarios, fomentar la competitividad y la eficiencia en el sistema carretero. Por esa razón, todos los elementos que conforman una carretera (pavimentos, señalizaciones, obras de drenaje, terracerías, etc.) tienen una gran importancia para la funcionalidad de la vía, sin embargo, se comprobó que el elemento de mayor trascendencia en una carretera es la superficie de rodamiento.
- La principal razón es que de ella depende en gran medida el buen funcionamiento de una carretera como: el tiempo y calidad de recorrido de un lugar a otro, el desgaste de los vehículos, así como la seguridad de los pasajeros que transitan por la vía. Otro factor importante son los costos de construcción y mantenimiento de este elemento, por ello es necesario que durante la construcción de una carretera se evalúen los tipos de materiales que se utilizan tanto para la estructura, como para la capa de rodadura del pavimento (rígido o flexible), así como controlar que los procedimientos de construcción se lleven a cabo de forma correcta ya que interviene de forma

directa en el costo del mantenimiento que se llevará a lo largo de la vida útil del mismo.

- Una vez construida la carretera debe de estar sujeta a un monitoreo constante indicando los periodos en los cuales se deben realizar las intervenciones adecuadas para mantener los niveles de servicio de un pavimento y en general de la carretera, provocando que el deterioro en la carretera sea lento y poco visible y logrando que el pavimento cumpla con su vida útil. Esto se traduce a que mientras los caminos se conserven en buenas condiciones, los trabajos requeridos son de un costo bajo en comparación con los trabajos que se requieren cuando se presentan los mayores deterioros. Tener un control adecuado en la conservación de carreteras puede significar un ahorro considerable de gastos que se destinan en reparaciones y mantenimiento de las carreteras en periodos muy cortos, lo cual puede ser aprovechable para invertir en nuevos proyectos carreteros, investigación, tecnología, etc., por esa razón, las inversiones en la conservación de carreteras son económicamente rentables para la sociedad en su conjunto.

- Para que todo lo anterior se lleve de manera exitosa, es necesario la creación de estrategias que ayuden al cumplimiento de un buen servicio, como por ejemplo: las asociaciones Público-Privado (APP) las cuales buscan que la asignación de los recursos sea más eficiente para el mantenimiento de las carreteras y que éstas operen en mejores condiciones y conforme a estándares internacionales, asimismo permiten implementar nuevas técnicas, procedimientos, tecnologías en materiales y herramientas que ayuden a preservar el patrimonio carretero.

- Finalmente, la tecnología juega un rol muy importante en la construcción y conservación de las carreteras ya que con la aplicación de nuevas mezclas, materiales y herramientas tecnológicas se ha logrado extender la vida útil tanto del pavimento como de sus componentes obteniendo beneficios para un mejor desempeño. Una de las aplicaciones más importantes que se ha

desarrollado son los programas de administración de carreteras, que como su nombre lo dice son utilizados para llevar una correcta administración de las vías recopilando y analizando información sobre las diferentes variables (clima, aforo, sobrecargas, históricos de conservación y mantenimiento, diseños, deterioros, estudios, etc.) que intervienen en el desempeño de un pavimento con el objeto de realizar la proyección, evaluación y programación de los trabajos de mantenimiento y conservación óptimos que deben realizarse a lo largo de la vida útil de la carretera con el fin de obtener un mayor costo/beneficio.

- Sin duda, las condiciones actuales del transporte carretero cambiarán conforme al paso del tiempo ofreciendo cada vez más retos en la infraestructura, por lo tanto, el gobierno de México debe actualizarse continuamente e innovar en procesos, materiales, herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la conservación de las carreteras y así aumentar su vida Útil.

Herrera (2014), en su Tesis titulada: *“ESTUDIO DEL PAVIMENTO DE LAS VÍAS DEL BARRIO SALACALLE, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA SAQUISILÍ, CANTÓN SAQUISILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES”*, Universidad Técnica de Abanto.

La presenta tesis reporta que el propósito del presente trabajo es mostrar una guía técnica para el mejoramiento vial y del sistema de drenaje de las vías del barrio Salacalle, ubicado en la ciudad de Saquisilí, cuya finalidad es incidir positivamente en la calidad de vida de los habitantes.

Comprende estudios que se realizaron en campo, como la aplicación de encuestas, las cuales abarcan categorías de economía, del buen vivir, la relación entre la variable dependiente, independiente y la propuesta, para posteriormente tabularlo e interpretarlo. Se realizó un levantamiento topográfico para determinar su ubicación, el diseño horizontal y vertical actual,

así mismo se efectuó un inventario vial para establecer las características propias de la vía. Se efectuaron trabajos en el laboratorio como es el estudio de suelos para obtener datos como contenidos de humedad natural, granulometría, límites de consistencia, compactación y C.B.R. Posteriormente un conteo vehicular para establecer el Tráfico Promedio.

Diario Anual y transformarlo en Ejes Simples Equivalentes a 8.2 toneladas; con los datos anteriormente obtenidos se diseñó el pavimento, estableciendo los espesores respectivos para cada capa de la estructura. También se diseñaron las cunetas, las cuales servirán para drenar el agua lluvia. El proyecto contempla un presupuesto con su respectivo análisis de precios unitarios y un cronograma valorado de trabajos que incluye la curva de inversión. Se concluye.

- Debido al estado vehicular, la población del barrio Salacalle no tiene acceso a servicios como salud y educación, lo que obliga a la urbe a movilizarse a la parte céntrica del cantón Saquisilí, provocando por ende incomodidad, pérdida de tiempo, etc.
- Las encuestas reflejan que la población considera que el sistema de drenaje y el estado de la vía son deficientes, lo que afecta al comercio, agricultura y ganadería, provocando pérdidas económicas.
- De la investigación realizada se concluyó que con el mejoramiento del pavimento y del sistema de drenaje la población considera que mejorará la calidad de vida.
- De acuerdo al estudio de tráfico, la mayor circulación se refiere a vehículos livianos, casi en su totalidad son camionetas; además existe la presencia de camiones de doble eje pequeños y grandes, es importante mencionar que no existe servicio de buses, por lo que la mayor parte de la población hace uso de las camionetas para trasladarse.

- Al analizar el inventario vial se puede resumir que la vía no cuenta con estructura de pavimento y que la misma se encuentra a nivel de subrasante con un ancho que varía entre siete y ocho metros y en sus ramales con cinco metros, y además no cuenta con cunetas.
- El estudio de suelos reflejó que la vía consta de arena pobremente graduada con un porcentaje de humedad natural bajo, no plástico y con una capacidad de soporte adecuada para la estructura del pavimento.

Miranda (2010), en su Tesis: “*DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS*”, Universidad Austral de Chile.

La presenta tesis reporta que este trabajo de titulación incluye una descripción de los tipos de pavimentos existentes para la construcción de caminos, mostrarlos diferentes tipos de deterioros que se presentan en un pavimento, sus diferentes causas a través de su construcción o a lo largo de los años, se plantea a demás los tipos de técnicas de reparación aplicadas en obras de pavimentación, mostrando sus procesos constructivos acompañado de un registro fotográfico para la mayor comprensión del proceso.

En este trabajo como caso práctico se muestra la conservación de pavimentos aplicada a los sectores 1 y 2 de Valdivia, destacando las causas que produjeron estos deterioros, y las reparaciones aplicadas, destacando los procesos constructivos en la reconstrucción de calzadas de pavimentos y carpetas asfálticas, sirviendo de un gran aporte a los profesionales que pretendan desarrollarse en el área de obras viales. En la conclusión del trabajo se detalla.

- Aún no se toma verdadera conciencia de que hacer mantención o conservación de pavimentación es mucho más barato que reparar el mismo pavimento, además de ahorrarnos millones de pesos, se puede ofrecer más serviciabilidad y confortabilidad a los conductores.

- La conservación de pavimentos requiere de personal capacitado, es decir, que dominen ampliamente el tema.
- Para que los fondos destinados a mantención sean ocupados en forma eficiente, es necesario inspeccionar los pavimentos frecuente y minuciosamente
- Tan pronto ha sido determinada la necesidad de hacer reparaciones, éstos deben hacerse inmediatamente, ya que los pavimentos continúan deteriorándose día a día, produciendo así una conducción peligrosa.
- Es necesario determinar primero la causa que produjo el daño en el pavimento, para poder realizar una reparación correcta, pudiendo así evitar una recurrencia.
- Un mantenimiento oportuno y continuo es necesario para preservar la inversión y mantener el pavimento en completo servicio al público.
- Con respecto a los trabajos realizados en los sectores 1 y 2 de Valdivia alguna de las técnicas empleadas en la reparación de pavimentos no fue la adecuada ya que no emplearon los criterios adecuados al tipo de falla con su solución respectiva, y los trabajos efectuados tienen que tener mayor inspección por parte del mandante.
- Corresponde definir legalmente un único organismo público responsable de la reparación, conservación y reposición de pavimentos, que tenga asignados recursos para ello en forma directa, para lo cual se requiere con urgencia actualizar la antigua legislación sobre pavimentación urbana.

Roberto, Iris & Ingrid (2009), en su Tesis titulada: *“EVALUACION DE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS ASFALTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR”*, Universidad de el Salvador.

La presente tesis reporta que la buena calidad de una carretera, en condiciones de servicio, es el resultado de un adecuado diseño estructural de la obra, seguido por la buena calidad en los procesos constructivos y en la correcta selección y empleo de los materiales que conformarán la obra; por lo que se pensaría que una carretera que siga y cumpla con estos tres parámetros debería de brindar un adecuado servicio en el período para el cual se diseñó y construyó, más sin embargo existen carreteras que a pesar de cumplir con estos parámetros, tienden a presentar deterioros que van acortando su vida útil; este fenómeno puede tener su raíz en el hecho que actualmente la caracterización del cemento asfáltico se ha realizado a partir de sus propiedades mecánicas, geológicas y químicas, y no tanto de sus propiedades ligantes dentro de la mezcla asfáltica de servicio, los resultados de los análisis de estos ensayos han sido el instrumento de selección de los asfaltos en función de los requerimientos de la mezcla.

En esta investigación se estudia las propiedades de cuatro de los cementos asfálticos más empleados en El Salvador y la susceptibilidad térmica, adhesividad, cohesión y envejecimiento de estos asfaltos como parte de las propiedades principales del asfalto dentro de una mezcla asfáltica, teniendo en cuenta las condiciones a que puede estar sometida. Por lo tanto, se evaluará si el cemento asfáltico posee buenas propiedades dentro de la mezcla, y no como un elemento independiente de esta. Los cuatro cementos asfálticos que se estudiarán son, el AC-20 y AC-30 producido por RASSA y los asfaltos modificados Tipo I-D y Tipo III-D, el estudio se basa en “El Método Universal de Caracterización de Ligantes (Método UCL), desarrollado en enfocar la caracterización de los cementos asfálticos desde el punto de vista de su utilización en las carreteras; solamente se han tenido en cuenta aquellas propiedades que se encuentran relacionadas directamente con el comportamiento de la mezcla en la vía, es decir se valora el comportamiento de los cementos asfálticos como parte integral de la mezcla, mediante la evaluación de sus propiedades fundamentales a través del ensayo cántabro de Pérdida por Desgaste.

Esta investigación nos permitirá predecir cómo se comportará el asfalto en cuestión, bajo específicas condiciones de servicio y por ende poder seleccionar el tipo de cemento asfáltico que mejor responderá a las condiciones a las cuales estará sometido el asfalto como parte de la capa de rodadura de una carretera en particular. El siguiente trabajo se desarrollará en cuatro capítulos.

El capítulo uno contiene las generalidades que nos introducirán al tema, los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos a cumplirse en nuestro trabajo, los alcances y limitaciones y la justificación por la cual escogimos este tema de investigación.

El capítulo dos nos da un amplio entendimiento de cada uno de los conceptos teóricos que nos servirán para comprender nuestra investigación, como son el asfalto, los agregados y las mezclas asfálticas.

El capítulo tres es el desarrollo y la presentación de las tablas y gráficos obtenidos en la parte experimental de nuestro estudio.

Finalmente, el capítulo cuatro nos lleva a las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados que nuestro estudio experimental nos permitió obtener, se concluye.

- Al evaluar los asfaltos para determinar la su respuesta a la Cohesión, se obtuvo el primer resultado que se fue manteniendo a lo largo de las pruebas. Los resultados manifiestan que los Asfaltos Modificados presentaron los menores porcentajes de pérdidas y los convencionales AC-20 y AC-30 tuvieron mayores, por lo que se comprueba que debido a la existencia de polímeros dentro de estas mezclas modificadas se pueden obtener mejores desempeños ofreciendo mayor resistencia al desgaste dado que brindan mayor cohesión a la mezcla asfáltica.

- Existe una marcada tendencia en el aumento de la pendiente de las curvas de estado de Susceptibilidad Térmica que indica mayores porcentajes de pérdidas por desgaste, para todos los asfaltos del estudio, al pasar los 55°C, lo que nos indica como todos los asfaltos sin excepción, aunque en diferente grado uno de otro, presenta mayores porcentajes de pérdida cuando están sometidos a temperaturas superiores a las de sus puntos de ablandamiento. Demostrando que el asfalto perteneciente a una mezcla es más susceptible a daños cuando se encuentra a temperaturas mayores a las de su punto de ablandamiento; y en términos generales a mayor temperatura de servicio en la carpeta asfáltica mayor deterioro sufre ésta.

- Al analizar los resultados de la prueba de Adhesión realizada a los cuatro asfaltos, observamos que si bien la presencia del agua para una mezcla asfáltica significa aumento de deterioro en la misma observada en la disminución de la adhesión del asfalto sobre las partículas de pétreo (desenvuelta de las partículas), sigue siendo más significativo la temperatura sobre la mezcla en servicio como indicativo de una mayor susceptibilidad al deterioro, para ver esto solo basta comparar los resultados de pérdidas por desgaste de las cuatro condiciones de adhesión: 1) Inmersión A a 35°C durante 4 días, 2) Inmersión B a 60°C durante 24 horas, 3) En seco a 25°C y 4) al horno a 60°C durante 12 horas; en donde la tercera condición muestra las menor perdidas y la segunda las mayores. La condición 2) fue la más desfavorable dado que además de encontrarse bajo los efectos del agua, esta tenía una temperatura alta. Resulta entonces interesante al comparar la primera y la cuarta condición; demuestra que esta última (al horno a 60°C) muestra mayores porcentajes de perdida respecto a la de inmersión a 35°C, aunque es poca la diferencia, la evidencia demuestra que son mayores los porcentajes de pérdida en las condiciones de temperatura a 60°C, por lo que predomina la temperatura como principal factor de deterioro de la mezcla.

- Entendiendo que la temperatura es el factor de más significancia en el deterioro de una mezcla asfáltica, el ensayo de Durabilidad nos muestra las curvas de estado, de los asfaltos estudiados, que expone como afecta a la mezcla asfáltica el período en el cual ha estado sometido la mezcla a una temperatura específica; de estas curvas observamos una tendencia aproximadamente lineal, con un escalón de pérdidas entre los períodos de 6hrs a 12hrs, lo que nos explica que el deterioro será mayor a mayor temperatura de servicio de mezcla asfáltica y mayor aún cuanto más largos sean los períodos de tiempo en que esa mezcla asfáltica se encuentra a esas altas temperaturas.

- Cuatro asfaltos, de los más empleados en el país, fueron estudiados para predecir el comportamiento que tendrán estos como parte de una mezcla asfáltica sobre una carretera. En términos generales fue el asfalto TIPO I-D el que mejor resistencia presentó a cada uno de los ensayos realizados, demostrando poder aportar una mejor cohesión y adhesión a la mezcla, una mayor resistencia a la Susceptibilidad Térmica y una mejor respuesta al Envejecimiento indicando poder retener sus características originales durante un mayor período de tiempo. El segundo lugar lo ocupa el asfalto TIPO III-D, seguido del AC-30 y finalmente el AC-20. Cabe aclarar que el hecho de que el asfalto AC-20 quedé ubicado en último lugar al evaluar los aportes que puede hacer a la mezcla, no es indicio de que este asfalto no pueda emplearse en carreteras; lo que esta investigación simplemente concluye es que de los cuatro asfaltos estudiados es el que menor resistencia al desgaste presentó.

- Estos resultados son determinados como aceptables bajo la evaluación de un software que analiza el comportamiento de los datos de manera estadística bajo la óptica del Análisis de la Varianza. Este análisis se puede apreciar de manera resumida en el Anexo 4 y sirvió para determinar las diferencias significativas entre los asfaltos, además de obtener datos estadísticos más específicos para determinar los comportamientos entre sí de los grupos de datos

Regalado (2015), en su Tesis titulada “*EFEECTO DE LA ACCIÓN DEL AGUA Y DEL ENVEJECIMIENTO EN LA RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS*”, UPC BARCELONATECH.

La presente tesis reporta que todo tiene un inicio y final, el transcurso del tiempo no discrimina. En el caso de la infraestructura viaria, esto significa el paso de repetidas cargas (cíclicas) debido a los vehículos y el efecto de las condiciones ambientales, las cuales generan un deterioro que es continuo durante la vida del firme, teniendo una disminución en su serviciabilidad, comodidad y seguridad. Este deterioro conlleva a un fallo por fisuración, producto de la fatiga de las cargas cíclicas y las variaciones de temperatura que ha sufrido el firme. La acción del agua en los pavimentos es uno de los factores que llevan a un fallo prematuro, al entrar agua por micro-fisuras en el pavimento, produciendo mediante diversos mecanismos de deterioro, el fallo.

El envejecimiento es el cambio de propiedades en la mezcla bituminosa resultando en un aumento de su rigidez llegando a provocar su fallo.

El fallo prematuro en los pavimentos tiene serias consecuencias económicas para quien construye, rehabilita y gestiona la infraestructura viaria, sin olvidar los problemas sociales que puede producir un mal estado de estas infraestructuras. Por tal motivo, es importante conocer el comportamiento del pavimento ante estos agentes de deterioro.

Esto motivó a un grupo de investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña al desarrollo del Ensayo Fénix, un medio experimental con el cual se evalúa la resistencia a fisuración de las mezclas bituminosas de una forma práctica, demostrando ser eficaz y económica. Este trabajo realizará un estudio para dos tipos de betún, uno convencional y uno modificado, con una granulometría semi-densa a tres temperaturas (-5°C, 5°C, 20°C). Las probetas serán ensayadas a diferentes acondicionamientos (no

acondicionada, inmersa, envejecida y envejecida + inmersión). El análisis de los resultados obtenidos mediante el Ensayo Fénix provee la información necesaria para entender los efectos de la acción del agua y el envejecimiento en ambas mezclas bituminosas estudiadas, se concluye que:

- La infraestructura viaria de un país tiene el rol de desarrollador económico y social, pero a cambio de un alto coste económico, por lo que se debe obtener el máximo rendimiento durante el periodo de vida útil de la infraestructura. Dentro de estas infraestructuras, las carreteras son las que representan el mayor porcentaje y las que representan los mayores costos económicos. Este gasto económico se realiza durante la etapa de construcción, conservación y mantenimiento. Estos dos últimos rubros representan en la mayoría de las veces el mayor gasto económico. Debido a que, al finalizar la construcción de la carretera, ésta se encuentra expuesta a los agentes ambientales y cargas de tráfico, lo que produce su deterioro en el tiempo.
- Por tal motivo se deben seleccionar correctos métodos de mantenimiento y conservación para la carretera; para ello se necesita conocer el comportamiento de sus componentes (materiales) frente a los agentes a los que se verán expuestos. Una mala selección resultaría en un mayor gasto económico llegando a superar su costo de construcción. Se trata de maximizar la vida útil de la infraestructura y así obtener una mayor rentabilidad (social - económica).
- Dentro de los deterioros que puede presentar una carretera, los problemas de fisuración constituyen un fallo muy frecuente. La fisuración por fatiga es un deterioro que no se podrá eliminar, pero sí controlar. El presente trabajo, tiene como objetivo evaluar el efecto del agua y envejecimiento en la resistencia a fisuración de una mezcla semi-densa, a diferentes temperaturas, mediante la utilización del ensayo Fénix.

- Para llegar al objetivo planteado en este trabajo final de máster, se realizaron las siguientes funciones:
- Revisión de literatura actual para tener conocimiento de la representación y análisis de los mecanismos de fisuración.
- Fabricación de las mezclas bituminosas en sus diferentes acondicionamientos para su posterior ensayo a diferentes temperaturas.
- Análisis de los resultados del Ensayo Fénix para evaluar las propiedades de la mezcla bituminosa en relación a la resistencia de fisuración.
- Análisis de la relación entre diferentes parámetros del Ensayo Fénix y su comportamiento en relación a la resistencia de fisuración.
- Después de realizar el presente trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones generales sobre la aplicación del Ensayo Fénix:
- El Ensayo Fénix es un procedimiento experimental, eficaz para evaluar la respuesta frente al fallo por fisuración de las mezclas bituminosas.
- El Ensayo Fénix permite conocer de una manera fácil y rápida el comportamiento de una mezcla bituminosa, a partir de dos de sus parámetros principales: la Energía de Fractura y el Índice de Rigidez a Tracción.
- El Ensayo Fénix permite diferenciar el comportamiento de betunes más flexibles (blandos) del de los rígidos (más duros). Conclusiones específicas:
- La Acción del Agua
 - Después de someter a un proceso de inmersión las probetas de betún convencional (B50/70) y modificado (PMB 45/80-65) para

conocer el efecto del agua en la resistencia a la fisuración de éstas, se concluye a partir del análisis de cada uno de los parámetros del Ensayo Fénix, que no se aprecian cambios sustanciales respecto a las probetas no acondicionadas, para cualquiera de los dos betunes.

- La Acción del Envejecimiento

- Después de someter a un proceso de envejecimiento las probetas de betún convencional (B50/70) y modificado (PMB 45/80-65) para conocer el efecto de este acondicionamiento en la resistencia a la fisuración de éstas, se concluye que para ambos tipos de betún el envejecimiento produce un aumento de la resistencia a tracción (RT) y del índice de rigidez a tracción (IRT), por lo que la mezcla presenta un menor desplazamiento de rotura (!), provocando una disminución en la energía de fractura y en la tenacidad. Estos efectos son más acusados a las temperaturas entre 20 y 5°C, obteniéndose valores más parecidos a bajas temperaturas (-5°C).

- La Acción del Envejecimiento + Agua

- Después de someter a un proceso de inmersión las probetas envejecidas de betún convencional (B50/70) y modificado (PMB 45/80-65) para conocer el efecto del agua en la resistencia a la fisuración de éstas, se concluye a partir del análisis de cada uno de los parámetros del Ensayo Fénix que, para cualquiera de los dos betunes analizados, no se observan cambios sustanciales respecto a las probetas no acondicionadas. Los resultados obtenidos con el Ensayo Fénix demuestran que la mezcla semi-densa utilizada para este trabajo mantiene una buena resistencia a la fisuración tras la acción del agua, mientras que el envejecimiento tiene un mayor efecto, provocando un aumento de la rigidez y una disminución tanto de su energía de fractura como de su tenacidad.

Pérez (2012), en su Tesis titulada: *“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PERFIL EN TRAMOS CARRETEROS Y ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA MEJORARLO”*, Universidad Nacional Autónoma de México.

La presente tesis reporta el tema de regularidad superficial en carreteras y autopistas ha sido considerado en México de manera discreta, la gran importancia económica que conlleva una buena calidad en la superficie de rodamiento, por el que transitan los vehículos ya sea de carga o de pasajeros, también se sabe que a partir de investigaciones realizadas por prestigias instituciones internacionales, la menor velocidad de deterioro que presentan los pavimentos durante su vida útil, es cuando estas se construyen con mejores regularidades superficiales.

En México, 2 de los parámetros que se utilizan con mayor frecuencia para la evaluación de la regularidad superficial en carreteras, lo constituyen el Índice Internacional de Irregularidad (IRI) y el Índice de Perfil (IP).

Se ha decidido en este trabajo determinar el parámetro del Índice de Perfil debido a su alto rendimiento con el cual se determina y también porque la Secretaria de Comunicaciones y Transportes a través de su Normativa utiliza este parámetro en la evaluación de caminos nuevos o reconstruidos, para fines de entrega o recepción de dichos trabajos.

La finalidad de este trabajo es visualizar los aspectos más relevantes que influyen en la regularidad superficial en una carretera y tratar de que las empresas ejecutoras de los trabajos de construcción, así como los de conservación, puedan aplicar técnicas que se han demostrado que son de gran ayuda en la mejora de alcanzar una buena regularidad superficial.

De los tramos evaluados, 3 tramos en el que se analizó la regularidad en esta investigación, es importante destacar que 2 tramos fueron parte del Programa Nacional de Conservación de carreteras del año 2010 y uno fue parte del Programa Nacional de Construcción y Modernización de Carreteras,

éste último dentro del Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012. Todos estos trabajos fueron realizados en el estado de Campeche, se concluye que

- La regularidad superficial de un pavimento es una característica muy importante dentro de la evaluación del estado superficial de una carretera, ya que afecta directamente a la comodidad y seguridad del usuario, así como los costos de operación. El buen estado de la infraestructura carretera resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía del país.
- En una construcción o reconstrucción en la capa superior de un pavimento y fundamentalmente en la terminación de la superficie de rodamiento, permitirá que los costos de operación sean mayores o menores. Lo anterior se generará desde el momento en que se ponga en operación el tramo, así como de los incrementos a lo largo de la vida útil del mismo.
- El nivel de rugosidad de la superficie de rodadura se estima mediante el índice internacional de rugosidad (IRI), que oficialmente se mide con un equipo Mays Meter, a 80 km/h. Sin embargo, cuando se trata de trabajos de conservación, en los que el tramo de tendido y compactación de la carpeta asfáltica en un día de trabajo no alcanzan la longitud necesaria para desarrollar la velocidad referida, es imposible utilizar el Mays Meter, por lo que, para fines de aceptación o rechazo se considera la rugosidad en términos del índice de perfil (IP) que se obtiene con un perfilógrafo tipo California.
- En nuestro país es necesario hacer obligatorio el uso del Índice Internacional de Rugosidad para una mejor evaluación del estado superficial de los pavimentos. Conviene dejar de evaluar subjetivamente las carreteras con el Índice de Servicio Actual, para ello en nuestro país se cuenta con el equipo automatizado (tales como el Mays Meter o el Perfilógrafo California) necesario para empezar obtener el IRI o IP en la red nacional de carreteras.

- Es importante mencionar que existe la necesidad de verificación de los diferentes equipos que determinan la regularidad superficial en instituciones reconocidas para tal fin como lo es el Instituto Mexicano del Transporte, lo anterior con la finalidad de asegurar la obtención de buenos resultados confiables a la hora de analizar el perfil de una carretera.
- No cabe la menor duda que aspectos como la homogeneidad de la mezcla a utilizar, tanto en su granulometría como en su temperatura, así como de revisar las partes de la pavimentadora y una adecuada compactación de las mezclas asfálticas, son determinantes para mejorar la regularidad superficial. Para mejorar la terminación superficial, es necesario tomar en cuenta también, las juntas transversales en el pavimento. Se pudo apreciar en los tramos analizados, que, en este punto de las juntas transversales, es donde los índices de perfil son mayores.
- También es importante la disposición de un equipo humano suficiente y bien preparado, además que tenga un conocimiento sobre los aparatos que miden la regularidad superficial, ya que a partir de datos de entrada al aparato se puede modificar totalmente el perfil de una carretera, tal es el caso del perfilógrafo californio, ya que si al modificar datos de entrada como la longitud del filtro, cambia totalmente el índice de perfil.
- En consecuencia, de los beneficios y economías que obtienen los usuarios de las carreteras, por disponer de una buena regularidad superficial de los pavimentos (mayor vida útil del pavimento, menor índice de accidentes, menores costos de conservación, menores costos de operación, etc.) la SCT, como institución gubernamental, debería bonificar a la empresa constructora cuando se consiguen valores inferiores de IP a los mínimos exigidos, al igual que, esté sea penalizando cuando no se alcanzan dichos valores mínimos del IP. Esto con el fin de que se modifique la Ley de Obra Pública y Servicios relacionados con las mismas, así como su reglamento, ya que actualmente no se estipula ninguna bonificación con algún concepto de obra.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Deflexión

2.2.1.1. Método de Diseño

Sencico Norma CE – 010 Pavimentos Urbanos (2010, p35)

- Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la PCA, comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente en su país de origen y que, al criterio del PR, sea aplicable a la realidad nacional.
- Alternativamente se podrán emplear las metodologías sugeridas en los Anexos B, D y F de esta Norma.

2.2.1.2. Diseño estructural

- En cualquier caso, se efectuará el diseño estructural considerando los siguientes factores:
 - Calidad y valor portante del suelo de fundación y de la sub-rasante.
 - Características y volumen del tránsito durante el período de diseño.
 - Vida útil del pavimento.
 - Condiciones climáticas y de drenaje.
 - Características geométricas de la vía.
 - Tipo de pavimento a usarse

2.2.1.3. Especificaciones técnicas constructivas

- El PR deberá elaborar las especificaciones técnicas que tomen en cuenta las condiciones particulares de su proyecto. En los Anexos C, E y G se acompañan los lineamientos generales para las especificaciones constructivas de pavimentos asfálticos, de concreto de cemento Portland y con adoquines, respectivamente.
- Los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos son los indicados en el cuadro.

Cuadro N 03: Especificaciones técnicas constructivas

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Sub - rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥250 mm - Vías locales y colectoras ≥300mm - Vías arteriales y expresas		
Sub - base		CBR ≥ 40 % 100 % Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100 % compactación Proctor Modificado	
Base		CBR ≥ 80 % 100 % Compactación Proctor Modificado	N.A.	CBR ≥ 80 % 100 % Compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR
Material	Vías locales	Concreto asfaltico	MR ≥ 3.4 Mpa (34 kg/cm ²)	f'c ≥ 38 Mpa (380 kg/cm ²)
	Vías colectoras			
	Vías arteriales			
	Vías expresas			

Fuente: NTP CE 010 Pavimentos Urbanos

- Notas: N.A. No Aplicable; N.R.: No Recomendable; El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el proyecto mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

- En ningún caso la capa de rodadura será la base granular o el afirmado, a menos que sea tratada. Bajo la responsabilidad de la Entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras y del PR, se podrá considerar otras soluciones tales como: Bases tratadas con cemento, con asfalto o cualquier producto químico.

- En el caso de los pavimentos flexibles y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: micropavimentos, lechadas bituminosas (slurry seal), tratamientos asfálticos superficiales, etc.

Cuadro N 04: Especificaciones en tipos de vías

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías		
	Vías locales	Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10⁴	10⁴ ≤ EAL < 10⁶	EAL ≥ 10⁶
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 -14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral***, VMA (min - max)		-	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min – máx.)	70 - 80	65 -78	65 -75

Fuente: NTP CE 010 Pavimentos Urbanos

Se debe considerar todos los criterios en el diseño de mezclas de pavimentación, Por encima de los 3000 m.s.n.m.m., se recomienda un valor de 2%. El porcentaje de vacíos en el agregado mineral se calcula sobre la base de las gravedades específicas bulk ASTM de los agregados.

Cuadro N 05: Tipos de agregados

MALLA	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje de vacíos de diseño		
	3.0	4.0	5.0
1,18 mm (N° 16)	21.5	22.5	23.5
2,36 mm (N° 8)	19.0	20.0	21.0
4,75 mm (N° 4)	16.0	17.0	18.0
9,50 mm (3/8")	14.0	15.0	16.0
12,5 mm (1/2")	13.0	14.0	15.0
19,0 mm (3/4")	12.0	13.0	14.0
25,0 mm (1.0")	11.0	12.0	13.0
37,5 mm (1.5")	10.0	11.0	12.0
50,0 mm (2.0")	9.50	10.5	11.5
63,0 mm (2.5")	9.00	10.0	11.0

Interpolar para valores de vacíos llenos de aire comprendidos entre los indicados.

Fuente: NTP CE 010 Pavimentos Urbanos

2.2.1.4. Pavimentos especiales

- Se consideran como pavimentos especiales a los siguientes:
 - Aceras o Veredas.
 - Pasajes Peatonales.
 - Ciclovías.
- Estos pavimentos deberán cumplir los siguientes requisitos:

Cuadro N 06: Pavimentos especiales

Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
Sub – rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %		CBR ≥ 60 %
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 70 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico		
	Concreto de cemento portland	$f'c \geq 17.5$ Mpa (175 kg/cm ²)		
	Adoquines	$f'c \geq 32$ Mpa (320 kg/cm ²)		N.R.

Fuente: NTP CE 010 Pavimentos Urbanos

2.2.1.5. Trafico

La metodología de diseño está basada en dos tipos de tráfico:

- Vehículos ligeros y
- Camiones.

Los suelos de sub-rasante se clasifican como:

- Excelente a Bueno. Los suelos de sub-rasante Excelentes no se ven afectados por la humedad o por el congelamiento. Ellos incluyen arenas o gravas limpias y angulosas, particularmente aquellas que son bien graduadas. Propiedades típicas: Módulo Resiliente 170MPa (25,000 psi), CBR $\geq 17\%$. Los suelos de sub-rasante Buenos retienen una cantidad sustancial de su capacidad de soportar cargas cuando están húmedos. Incluyen las arenas limpias, arenas con gravas y suelos libres de cantidades perjudiciales de materiales plásticos. Propiedades típicas: 80 MPa (12,000 psi) < Módulo Resiliente <170 MPa (25,000 psi); $8\% < \text{CBR} < 17\%$.
- Regular, los suelos de sub-rasante son moderadamente estables bajos adversas de humedad. Incluye suelos como arenas eólicas, arenas limosas y arenas gravosas que contienen cantidades moderadas de arcillas y limos. Propiedades típicas: 30 MPa (4,500 psi) < Módulo Resiliente < 80 MPa (12,000 psi) y $3\% < \text{CBR} < 8\%$.
- Pobre, Suelos blandos y plásticos cuando están húmedos. Incluyen suelos con cantidades apreciables de arcillas y limos. Los limos gruesos y arenas eólicas arenosos también pueden mostrar pobres capacidades portantes en áreas donde la penetración por helada dentro de la sub-rasante es un factor. Propiedades típicas: Módulo Resiliente ≤ 30 MPa (4,500 psi), CBR $\leq 3\%$.

2.2.1.6. Medio ambiente

Se dan los grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones variadas de temperatura.

Cuadro N 07: Temperatura y medio ambiente

Condición de Temperatura	Grados de Asfalto
Frío, temperatura media anual del aire 7 °C	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7 °C y 24 °C	PEN 85/100, 60/70 PEN 60/70, 40/50
Caliente, temperatura media anual del aire 24 °C	

Fuente: NTP CE 010 Pavimentos Urbanos.

2.2.2. Capa de Rodadura del Pavimento Flexible

2.2.2.1. Definición

Manual de Carreteras (2013, p.747) Este trabajo consiste en cortar total o parcialmente la capa de rodadura del pavimento, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto, El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora, cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Si durante el transcurso de los trabajos el Supervisor observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, ordenará su reemplazo.

El Contratista deberá utilizar equipo autopropulsado con las siguientes características:

- Equipado con un control automatizado para la profundidad de corte.
- Capaz de mantener una profundidad de corte uniforme.
- Capaz de fresar a la profundidad requerida, abarcando al menos la mitad del ancho de la capa a reciclar, o un carril, el que sea mayor.
- Capaz de triturar el material fresado.

Cuadro N 08: Tipo de carpeta asfáltica según intensidad del tránsito

Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Tipo de carpeta
Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mínimo
1000 a 2000	Mezcla en planta de 5cm de espesor mínimo
500 a 1000	Mezcla en el lugar o planta de 5cm de espesor mínimo
menos de 500	Tratamiento superficial simple o múltiple

Fuente: Lizcano (2013)

Medina 2015 (p.12) nos indica que las estructuras detalladas en capas son:

Sub rasante: Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR4 igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo-sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación.

Sub-base: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta

capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Base granular: Es la capa inferior a la capa de rodadura, tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base.

Carpeta asfáltica: Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo, es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

2.2.2.2 Características de materiales

Gosil (CAR. Carreteras – pavimentos, p.24) La propiedad básica de los materiales que conforman las capas de un pavimento (carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante) es el Módulo de Resiliencia, que es una medida de las propiedades elásticas de un suelo, pero reconociendo la existencia de características no lineales en su comportamiento, según AASHTO el Módulo de Resiliencia está llamado a sustituir al Valor Relativo de Soporte por las razones siguientes:

Se supone que es una propiedad mecánica básica que puede usarse en análisis mecanicistas de sistemas de capas múltiples para predecir diferentes tipos de deterioros, como son el agrietamiento, las deformaciones permanentes, la rugosidad, etc. El procedimiento para su obtención está normalizado según método AASHTO

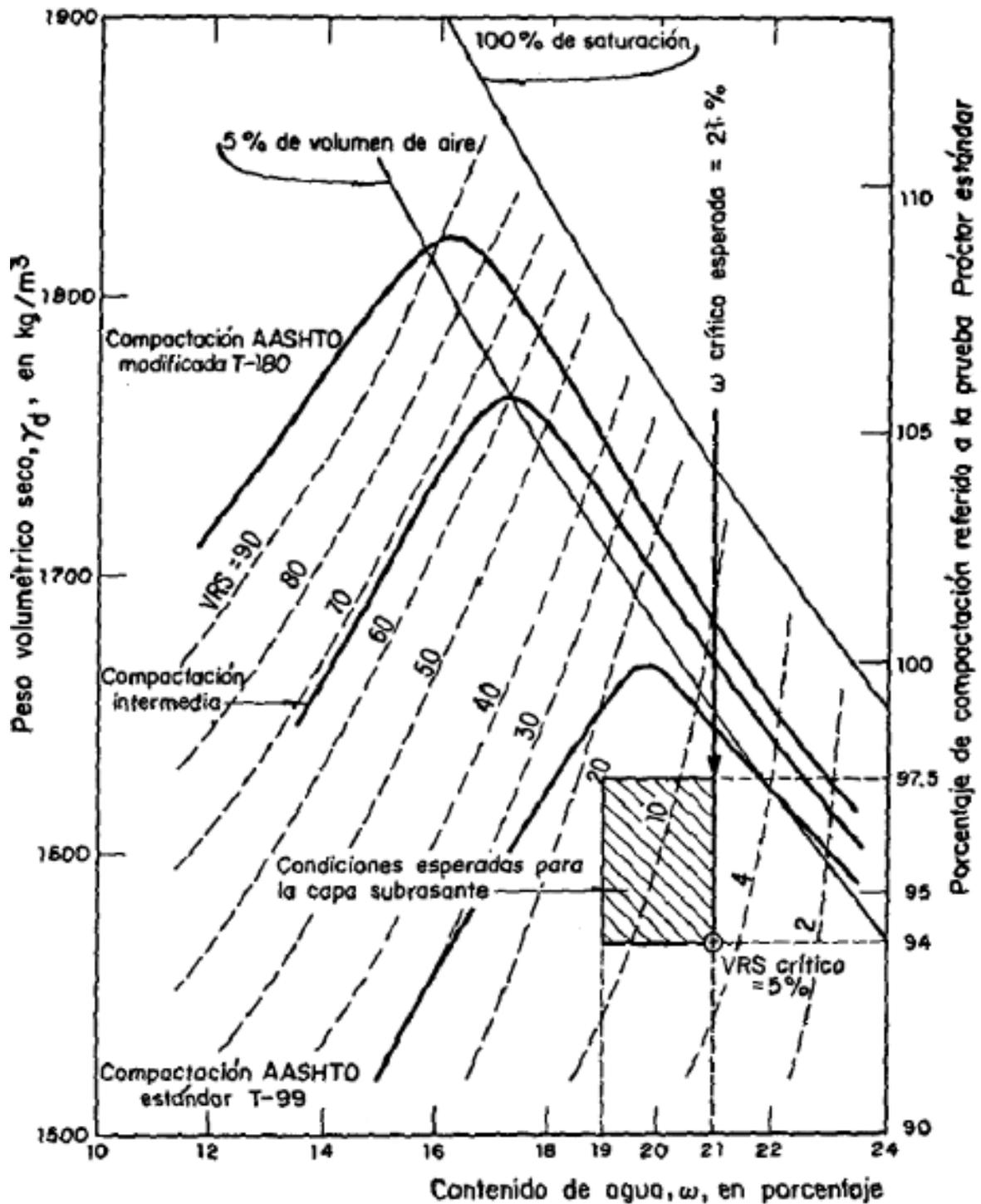


Figura 03: Ejemplo relaciones peso volumétrico seco – contenido de agua - vrs, para un suelo arcilloso

Características de las relaciones entre el peso volumétrico y su contenido de agua, en el eje "X" su contenido de agua en porcentaje, y en el eje "Y" el porcentaje de compactación por prueba de Proctor Estándar

Fuente: CBR – VRS Valor relativo al soporte

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS	COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON	
				CARPETA Y BASE	SUB-BASE Y TERRACERIAS	CARPETA Y BASE	SUB-BASE Y TERRACERIAS
	①	②	③ = ① + ②	Z ₁	Z ₂	⑥ = ③ x ④	⑦ = ③ x ⑤
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
	CARGADOS						
	VACIOS						
SUMAS	1.000	—	1.000			EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧	
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, C _T = $\left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$ 365							
n = AÑOS DE SERVICIO =							
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = %							
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL =				ΣL ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩			
				C _T ⑩			
				EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧			
				TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨			

Figura 04: Calculo del tránsito equivalente acumulado (ΣL).

Coefficiente de acumulación del tránsito diario medio anual, y años de servicio por la tasa de crecimiento anual.

Fuente: CBR – VRS Valor relativo al soporte

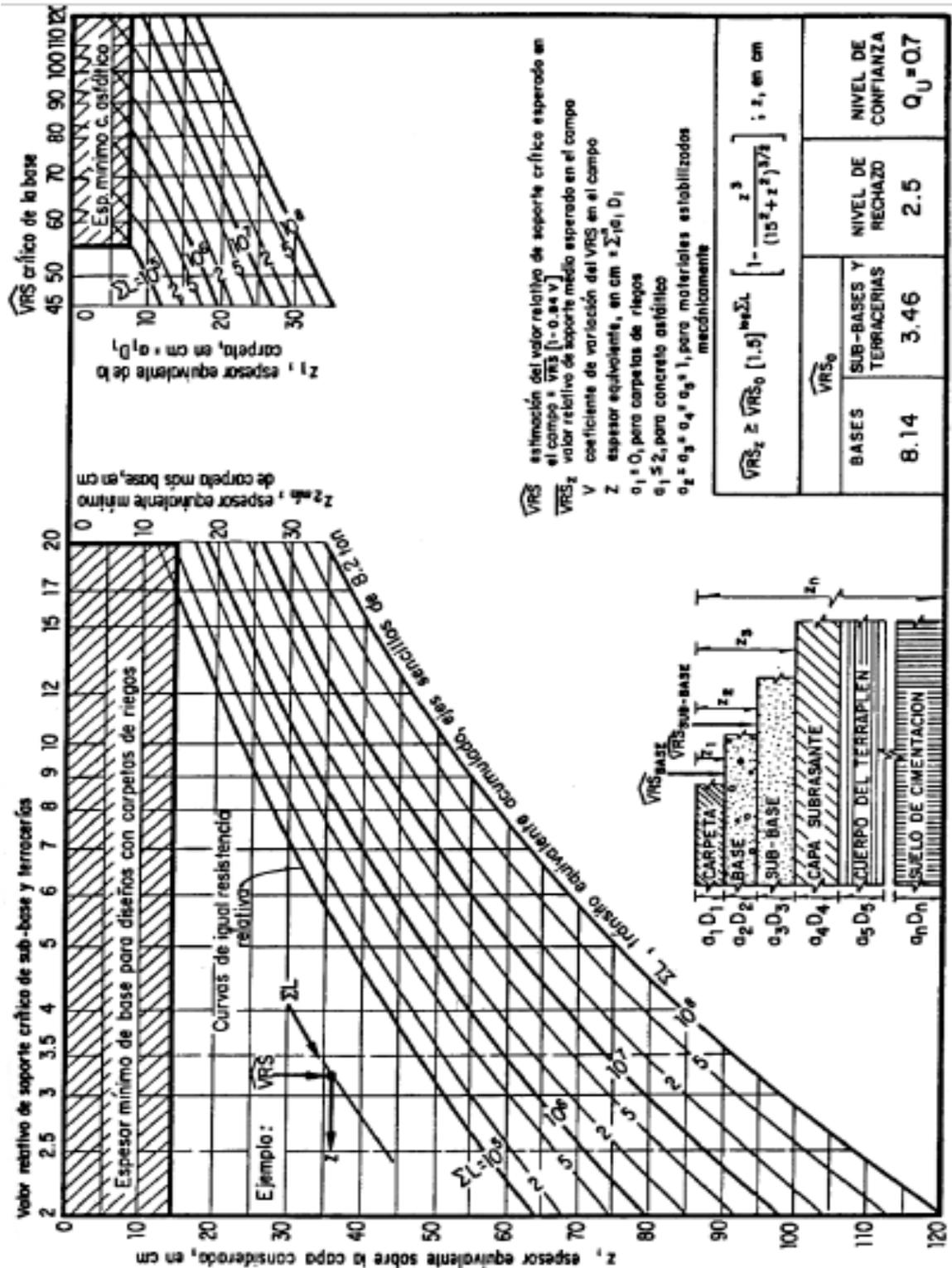


Figura 05: Grafica para diseño estructural de carretas con pavimento flexible

Espesores equivalentes sobre la capa considerada, y el espesor necesario para las cargas del tránsito equivalente acumulado

Fuente: CBR – VRS Valor relativo al soporte

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Asfalto:

Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010). Capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que esté firme y llano.

2.3.2. Calentamiento:

Aguirre (2009). Aumento de la temperatura mediante la transmisión de calor.

2.3.3. Cambio climático:

Aguirre (2009). Se trata de cambios de orden natural, pero actualmente, se los encuentra asociados con el impacto humano sobre el planeta. Se trata de un fenómeno complejo que sólo puede ser observado y analizado mediante simulaciones computacionales.

2.3.4. Clima:

Aguirre (2009). Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc., y cuya acción compleja influye en la existencia de los seres sometidos a ella.

2.3.5. Deformación:

Padilla (2004). Costumbres o puntos de vista equivocados debidos al ejercicio de algunas profesiones mecánicas. Variación de la forma y dimensiones de un cuerpo, debida a la acción de fuerzas exteriores.

2.3.6. Lluvia:

Regalado (2015). Caída de agua de las nubes en forma de gotas que afectan a la estructura de pavimento en especial su capa de rodadura.

2.3.7. Medio ambiente:

Miranda (2010). Sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana.

2.3.8. Ligante:

Manual de Carreteras (2013). Partículas un compuesto adhesivo que ligan y mantienen unidos dos elementos.

2.3.9. Radiación:

Miranda (2010). Emisión de radiaciones luminosas, térmicas, magnéticas o de otro tipo.

2.3.10. Suelo:

Manual de Carreteras (2013). Superficie sobre la que se pisa, generalmente recubierta de algún material para hacerla lisa y resistente.

2.3.11. Temperatura:

Aguirre (2009). Propiedad que establece el equilibrio térmico entre dos cuerpos: el calor fluye siempre del cuerpo que está a mayor temperatura hacia el de menor temperatura; en el Sistema Internacional, la temperatura se expresa en grados Kelvin (K), aunque son unidades más usuales el grado centígrado (C) y el grado Fahrenheit (F).

2.3.12. Trafico:

Manual de Carreteras (2013). Flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta también con muchas similitudes en otros fenómenos como el flujo de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones. Según salinas (2010) p. 15.

III. MARCO METODOLOGICO

3.1. Hipótesis.

3.1.1. Hipótesis general.

Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función del asfalto y los agregados.

3.1.2. Hipótesis Específicas.

Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función del asfalto.

Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función de los agregados.

3.2. Variables de estudio.

Variable 1 (x), Variable 2 (y)

X= Deflexión (Tránsito de Vehículos – Temperatura– Sección Estructural).

Y= Capa de rodadura del pavimento flexible.

3.2.1. Definición conceptual.

3.2.1.1. Deflexión (tránsito de vehículos – Temperatura – sección estructural).

Gómez (2014, p.11) nos indica que Los métodos que se describe en diversos documentos está encaminado a dar una aproximación de las correlaciones empíricas logradas hasta la primera mitad del siglo XX en el diseño estructural de pavimentos; se ha llegado a este estado del arte aplicando metodologías usadas en otras áreas de la ingeniería que tienen en cuenta las propiedades de los materiales que constituyen el pavimento; el

procedimiento puede tener el grado de sofisticación que el ingeniero desee con este procedimiento se puede obtener los esfuerzos, deformaciones y deflexiones producidos por cargas a las que está sometida la estructura.

3.2.1.2. Capa de rodadura del pavimento flexible.

Gómez (2014, p.60) nos indica que los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASTHO y se obtiene el Número Estructural, que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales.

3.2.2. Definición operacional.

Cuadro N 09: Definición operacional

Variable	Indicador	Medición	Rango de Variabilidad
VARIABLE 1			
Deflexión: Transitabilidad de Vehículos – Temperatura – Sección Estructural	Tráfico vehicular	Vehículos / h	Cronometro
	Humedad Relativa	Porcentaje %	Ensayo
	Área Pavimento	m	Diseño
VARIABLE 2			
Capa de rodadura del pavimento flexible	Asfalto	Pulgadas	Diseño
	Agregados (Base, Sub Base, Subrasante)	Pulgadas	Diseño

Fuente: Descripción del proyecto, Método AASTHO 93

3.3. Tipo o nivel de investigación

3.3.1. Tipo de estudio.

Pertenece al tipo de estudio Aplicada, porque se utilizó y se aplicó la deflexión en la capa de rodadura, y como se complementan estas variables.

Hernández (2003), nos menciona: “Es la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos y poder obtener nuevos conocimientos.”

3.3.2. Nivel de investigación.

Pertenece al tipo de investigación Correlacional.

según Hernández (2003) p.117. Correlacional, porque es un estudio que tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables.

3.4. Diseño de la investigación para contrastar la hipótesis

Experimental Factorial

según Hernández (2003). El diseño Experimental Factorial, como estructura de investigación, es la combinación de dos o más diseños simples (o unifactoriales); es decir. El diseño factorial requiere manipulación simultánea de dos o más variables independiente (llamados factores), en un mismo experimento.

Los resultados del grado de humedad y del reconocimiento geotécnico de la deflexión del terreno con los resultados del comportamiento homogéneo, efectuando en el tramo de la vía 11 calicatas en 3 puntos específicos.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

En esta investigación la población será la cantidad de muestras obtenidas en el trayecto de la vía Santa Rosa ubicado en la ciudad de Lima en el distrito de San Juan de Lurigancho, que consta de 11 calicatas

3.5.2. Muestra

Es un subconjunto de elementos que de acuerdo con cierta característica pertenecen a ese conjunto definido población. La muestra serán 11 calicatas donde se evaluará los resultados de los ensayos en laboratorio.

Como explica Hayes (1999) citado en Fernández (2003), sobre muestra censal, nos menciona: “la muestra es toda la población, este tipo de método se utiliza cuando es necesario saber las opiniones de todos los clientes o cuando se cuenta con una base de datos de fácil acceso

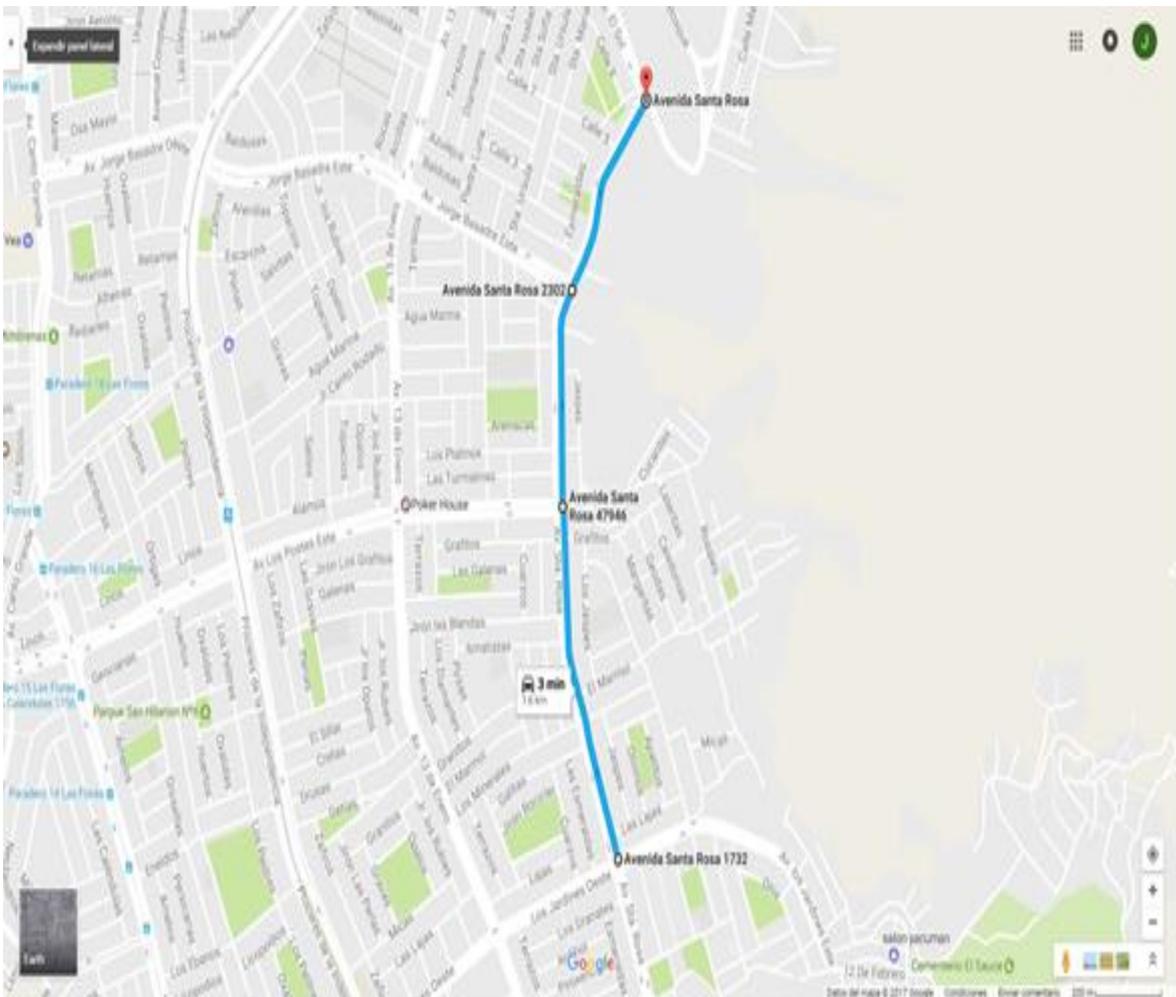


Figura 06: Mapa de muestreo

Mapa de la vía estudiada, donde se muestra los cruces de la Av. Santa Rosa – Los Jardines; Av. Santa Rosa – Av. Los Postes; y Av. Santa Rosa – Av. El Sol; lugares donde se tomó las muestras de la calicata

Fuente: Google maps

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnica de recolección de datos

Según Byelca Huamán (2003) p. 8. La observación es un acto en el que entran en una estrecha y simultánea relación el Observador (sujeto/s) y el objeto/s.

Orientada a la obtención de resultados obtenidos en el ensayo de calicata

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Muestras de suelo, de acuerdo con el tipo de ensayo que se va a realizar

Balde limpio para recojo del material.

Pala limpia para extracción de material.

Wincha para medir distancia de los estratos extraídos por cada calicata

Bolsas plásticas para almacenar el material y sellarla de manera segura para que no pierda su humedad natural, y su próximo llevado al laboratorio.

3.7. Método de análisis de datos

Se realizará un análisis estadístico con el apoyo del software STATGRAPHICS 16.1, con el cual se realizará el procesamiento y análisis de datos para su evaluación de las medidas de tendencia central como son la media, la mediana y la desviación estándar a por lo que permitió la constatación de las hipótesis.

En la investigación se realizaron los procesamientos de los datos y sus síntesis mediante los programas estadísticos: SPSS Statistics V.17, MINITAB V. 14 y STATGRAPHICS Centurión X V. II en el marco de la estadística descriptiva y la estadística inferencial como lo recomienda Calzada (1970) para los análisis estadísticos para hacer las estimaciones de las medidas de

tendencia central para la comparación de las muestras de los resultado de los instrumentos a fin de la verificación de las hipótesis plateadas en la investigación en las distribución subyacente de donde se obtuvieron las observaciones de su tendencia normal para el uso de la estadística paramétrica y realizar las pruebas y sobre los métodos de análisis estadístico de los siguientes temas de intervalos de confianza, principios de las pruebas de significancia, comparación de dos medias o proporciones muestrales, T Student, análisis de variancia y optimación de la tendencia mediante superficies de respuestas.

Se utilizó los siguientes estadígrafos:

- La estadística descriptiva: Media, mediana, moda y media aritmética.
- La estadística inferencial, para la prueba de hipótesis se utilizó la “t” de Student, medidas de dispersión, desviación estándar, la varianza y la regresión estándar.
- Los análisis se realizaron con un nivel de significancia estadística del 95%.

La metodología del diseño de superficie de respuesta se utilizó para refinar los modelos después de determinar los factores importantes utilizados en los diseños estadísticos, especialmente para la confirmación de las hipótesis establecidas en la investigación este instrumento de estadístico permitió entender o identificar una región de una superficie de respuesta mediante las ecuaciones de superficie de respuesta que modelaron la manera en que cambios en las variables afectan una respuesta de interés.

3.8. Aspectos Éticos

Los trabajos de investigación de diseño, desarrollo y ejecución se ejercerán teniendo presente que deberá servir primordialmente a la sociedad. Pondrá todo su esfuerzo para lograr el mejoramiento del nivel de vida de las mayorías, por lo que deberá estar enterado de las características de nuestro país y los aspectos de la vida nacional y deberá estar dispuesto a cumplir las misiones que se le asignen en el medio rural.

La investigación en ingeniería civil le debe respeto a la persona y al trabajo de sus compañeros, consecuentemente, evitará lesionar el buen nombre y el prestigio profesional de sus colegas, ante clientes, patronos y trabajadores.

La investigación reconocerá que debe a la institución educativa en donde realizó sus estudios, su prestigio profesional y su lugar en la sociedad; prestará toda la colaboración necesaria para el fortalecimiento de las organizaciones profesionales y de su ámbito de interés.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados estadísticos del asfalto

Los resultados generados por los ensayos de calicata, generados por especialista en mecánica de suelos y el diseño del asfalto lo cual estandariza los manuales, estudios de tránsito y transporte.

Cuadro N 10: Resumen Estadístico

	<i>ASFALTO (plg)</i>	<i>SECCION PAVIMENTO (m)</i>
Recuento	20	20
Promedio	2.9	6.57
Desviación Estándar	0.852242	0.396166
Coefficiente de Variación	29.3876%	6.02992%
Mínimo	2.0	6.0
Máximo	4.0	7.2
Rango	2.0	1.2
Sesgo Estandarizado	0.372571	0.0908724
Curtosis Estandarizada	-1.47651	-1.08528

Según el cuadro 10, contiene el resumen estadístico para la muestra del asfalto y su sección de pavimento, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas.

De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales, como también lo reporta Gamboa (2009)

4.1.1.1. Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de ASFALTO (plg): 2.9 +/- 0.398862 [2.50114; 3.29886]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de SECCION PAVIMENTO (m): 6.57 +/- 0.185412 [6.38459; 6.75541]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -3.67 +/- 0.425428 [-4.09543; -3.24457]

4.1.1.2. Prueba de Hipótesis

Prueba de Hipótesis: Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -17.4637$ valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Esta opción ejecuta una prueba-t de la muestra del asfalto y de su sección tomadas para comparar las medias. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -4.09543 hasta -3.24457. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%, como se demuestra en el grafico siguiente.

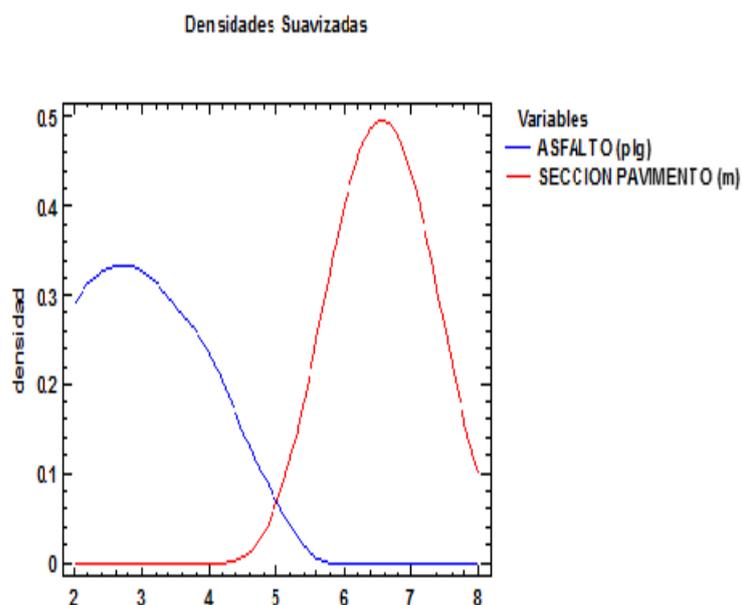


Figura 07: Comparación del Asfalto y la Sección del Pavimento

Comparacion de las medias entre las muestras del asfalto y la seccion del pavimento, comparando la maxima capacidad del asfalto.

En la figura 07 se detalla las densidades máximas de la muestra del asfalto y su sección del pavimento. Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras, También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -4.09543 hasta -3.24457.

Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%, como se demuestra en el grafico siguiente

4.1.1.3. Prueba de Desviación estándar

Cuadro N 11: Comparación de Desviaciones Estándar

	ASFALTO (plg)	SECCION PAVIMENTO (m)
Desviación Estándar	0.852242	0.396166
Varianza	0.726316	0.156947
GI	19	19
Razón de Varianzas= 4.62777		

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de ASFALTO (plg): [0.648122; 1.24476]

Desviación Estándar de SECCION PAVIMENTO (m): [0.30128; 0.578629]

Razones de Varianzas: [1.83173; 11.6918]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 4.62777 valor-P = 0.00160751

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

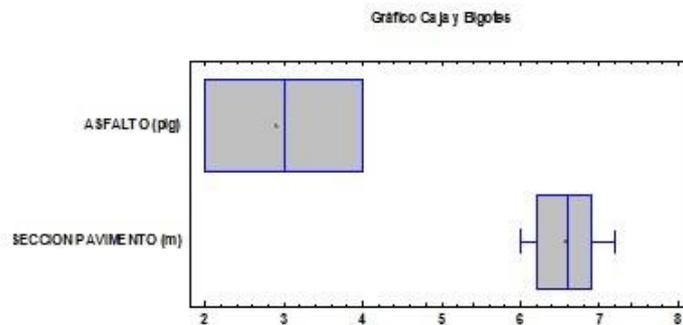


Figura 08: Comparación desviación estándar del Asfalto y la Sección del Pavimento

Comparacion de desviacion estandar entre las muestras del asfalto y la seccion del pavimento, comparando la maxima capacidad del asfalto.

En la figura 08, se compara el máximo el máximo espesor alcanzado del asfalto, a una medida máxima necesaria de la sección del pavimento que varía desde los 6 metros a 7.20 metros. Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras, también construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 1.83173 hasta 11.6918. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95.0%.

Cuadro N 12: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)

<i>ASFALTO (plg)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
2	8	6.525	0.337004	5.16481%	6.0	7.0
3	6	6.76667	0.427395	6.31619%	6.0	7.2
4	6	6.43333	0.427395	6.64345%	6.0	7.2
Total	20	6.57	0.396166	6.02992%	6.0	7.2

<i>ASFALTO (plg)</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
2	1.0	-0.193946	-0.527158
3	1.2	-1.33895	0.939048
4	1.2	1.33895	0.939048
Total	1.2	0.0908724	-1.08528

Según el cuadro N 12, muestra diferentes muestras de SECCION PAVIMENTO (m) para cada uno de los 3 niveles de ASFALTO (plg). La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. Selecciones Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

4.1.1.4. Análisis de Variancia (ANOVA)

Cuadro N 13: Tabla Análisis de Variancia (ANOVA) para SECCION PAVIMENTO (m) /ASFALTO (plg)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.360333	2	0.180167	1.17	0.3347
Intra grupos	2.62167	17	0.154216		
Total (Corr.)	2.982	19			

Según el cuadro N 13, descompone la varianza de SECCION PAVIMENTO (m) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos.

La razón-F, que en este caso es igual a 1.16828, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de SECCION PAVIMENTO (m) entre un nivel de ASFALTO (plg) y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

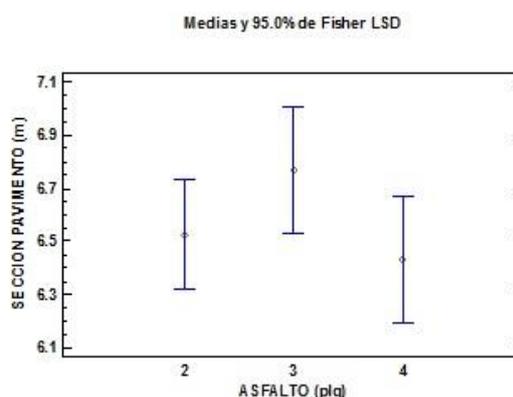


Figura 09: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)

Resumen Estadístico entre las muestras del asfalto y la sección del pavimento, comparando la máxima capacidad del asfalto.

Cuadro N 14: Análisis de Varianza para humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:asfalto	5.5296	1	5.5296	0.64	0.4831
B:seccion	4.36907	1	4.36907	0.50	0.5292
AA	10.3361	1	10.3361	1.19	0.3550
AB	0.207025	1	0.207025	0.02	0.8871
BB	47.3689	1	47.3689	5.46	0.1016
Error total	26.0384	3	8.67947		
Total (corr.)	93.8491	8			

R-cuadrada = 72.255 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 26.0134 por ciento

Error estándar del est. = 2.94609

Error absoluto medio = 1.4516

Estadístico Durbin-Watson = 2.76941 (P=0.9374)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.459706

Según el cuadro N 14, ANOVA nos indica la variabilidad de humedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.



Figura 10: Efectos de la Humedad

Efectos de Humedad entre las muestras del asfalto y la seccion del pavimento, comparando la capacidad maxima que contiene el asfalto.

4.1.1.5. Análisis de Superficie de Respuesta

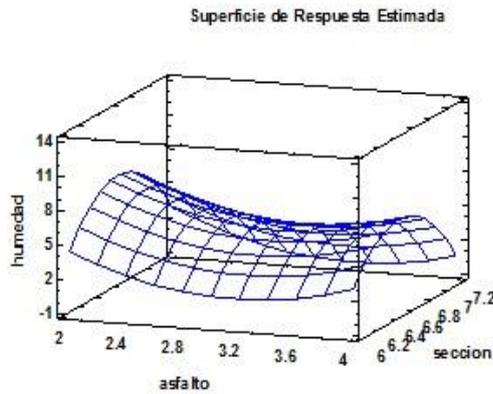


Figura 11: Superficie de respuesta estimada

Superficie de Respuesta entre las muestras del asfalto y la seccion del pavimento, comparando la capacidad y humedad del asfalto.

Según el grafico N 11, identificado por la siguiente ecuación:

$$\text{humedad} = -558.3 - 12.0975 \cdot \text{asfalto} + 178.16 \cdot \text{sección} + 2.27333 \cdot \text{asfalto}^2 - 0.379167 \cdot \text{asfalto} \cdot \text{sección} - 13.5185 \cdot \text{sección}^2$$

Su valor optimo, cuando interactúa el asfalto, con la sección nos da la siguiente tabla

Optimización de Respuesta

Meta: maximizar humedad

Valor óptimo = 8.60123

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
asfalto	2.0	4.0	2.0
sección	6.0	7.2	6.56138

Este cuadro muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza humedad sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo

de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

4.1.2. Resultados estadísticos del agregado

Los resultados generados por los ensayos de calicata, generados por especialista en mecánica de suelos y el diseño del agregado lo cual estandariza los manuales, estudios de tránsito y transporte.

Cuadro N 15: Resumen Estadístico

	<i>AGREGADO (plg) SECCION PAVIMENTO (m)</i>	
Recuento	20	20
Promedio	7.65	6.57
Desviación Estándar	2.73909	0.396166
Coeficiente de Variación	35.8051%	6.02992%
Mínimo	4.0	6.0
Máximo	12.0	7.2
Rango	8.0	1.2
Sesgo Estandarizado	0.309311	0.0908724
Curtosis Estandarizada	-1.20259	-1.08528

Según el cuadro N 15, contiene el resumen estadístico para la muestra del agregado y su sección de pavimento. Dentro de este resumen estadístico para las dos muestras de datos, dentro de este análisis, se evalúa las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas.

De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales, como también lo reporta Gamboa (2009)

4.1.2.1. Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de AGREGADO (plg):
7.65 +/- 1.28194 [6.36806; 8.93194]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de SECCION
PAVIMENTO (m): 6.57 +/- 0.185412 [6.38459; 6.75541]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la
diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 1.08 +/- 1.2528 [-
0.172805; 2.3328]

4.1.2.2. Prueba de Hipótesis

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

suponiendo varianzas iguales: $t = 1.74516$ valor-P = 0.0890392

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0.172805 hasta 2.3328. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%, como se demuestra en el gráfico siguiente.

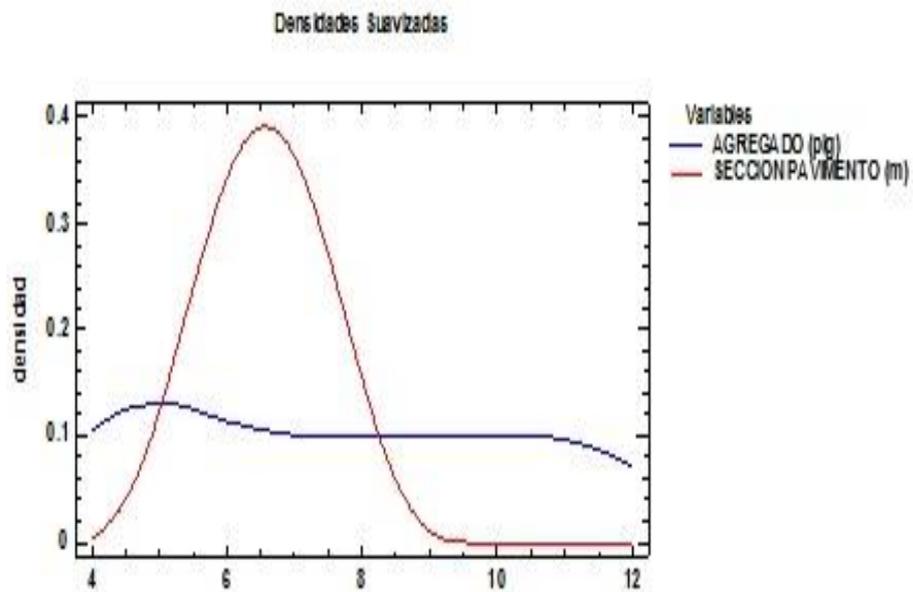


Figura 12: Comparación del Agregado y la Sección del Pavimento

Comparación de las medias entre las muestras del agregado y la sección del pavimento, comparando la máxima capacidad del agregado.

En la figura 12 se detalla las densidades máximas de la muestra del agregado y su sección del pavimento. Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras, También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -4.09543 hasta -3.24457.

Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%, como se demuestra en el gráfico siguiente.

4.1.2.3. Prueba de Desviación Estándar

Cuadro N 16: Comparación de Desviaciones Estándar

	AGREGADO (plg)	SECCION PAVIMENTO (m)
Desviación Estándar	2.73909	0.396166
Varianza	7.50263	0.156947
GI	19	19
Razón de Varianzas= 47.8035		

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de AGREGADO (plg): [2.08305; 4.00064]

Desviación Estándar de SECCION PAVIMENTO (m): [0.30128; 0.578629]

Razones de Varianzas: [18.9212; 120.773]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 47.8035 valor-P = 7.36389E-12

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

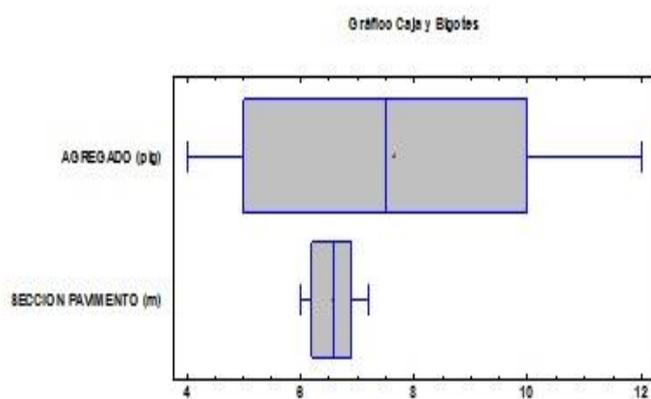


Figura 13: Comparación desviación estándar del Agregado y la Sección del Pavimento

Comparacion de desviacion estandar entre las muestras del agregado y la seccion del pavimento, comparando la maxima capacidad del agregado.

En la figura 13, se compara el máximo el máximo espesor alcanzado del agregado, a una medida máxima necesaria de la sección del pavimento que varía desde los 6 metros a 7.20 metros. Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 18.9212 hasta 120.773. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con 95.0%.

Cuadro N 17: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)

<i>AGREGADO (plg)</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>
4	3	6.4	0.4	6.25%	6.0
5	3	6.6	0.4	6.06061%	6.2
6	2	6.6	0.282843	4.2855%	6.4
7	2	6.8	0.282843	4.15945%	6.6
8	2	7.0	0.282843	4.04061%	6.8
9	2	6.5	0.707107	10.8786%	6.0
10	2	6.7	0.707107	10.5538%	6.2
11	2	6.2	0.282843	4.56198%	6.0
12	2	6.4	0.282843	4.41942%	6.2
Total	20	6.57	0.396166	6.02992%	6.0

AGREGADO (plg) Máximo Rango Sesgo Estandarizado Curtosis Estandarizada

4	6.8	0.8	0	
5	7.0	0.8	0	
6	6.8	0.4		
7	7.0	0.4		
8	7.2	0.4		
9	7.0	1.0		
10	7.2	1.0		
11	6.4	0.4		
12	6.6	0.4		
Total	7.2	1.2	0.0908724	-1.08528

Según el cuadro N 17, muestra diferentes muestras de SECCION PAVIMENTO (m) para cada uno de los 9 niveles de AGREGADO (plg). La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio.

Selecciones Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

4.1.2.4. Análisis de Variancia (ANOVA)

Cuadro N 18: Análisis de Variancia (ANOVA) para SECCION PAVIMENTO (m) por AGREGADO (plg)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.942	8	0.11775	0.63	0.7349
Intra grupos	2.04	11	0.185455		
Total (Corr.)	2.982	19			

Según el cuadro N 18, descompone la varianza de SECCION PAVIMENTO (m) en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos.

La razón-F, que en este caso es igual a 0.634926, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de SECCION PAVIMENTO (m) entre un nivel de AGREGADO (plg) y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

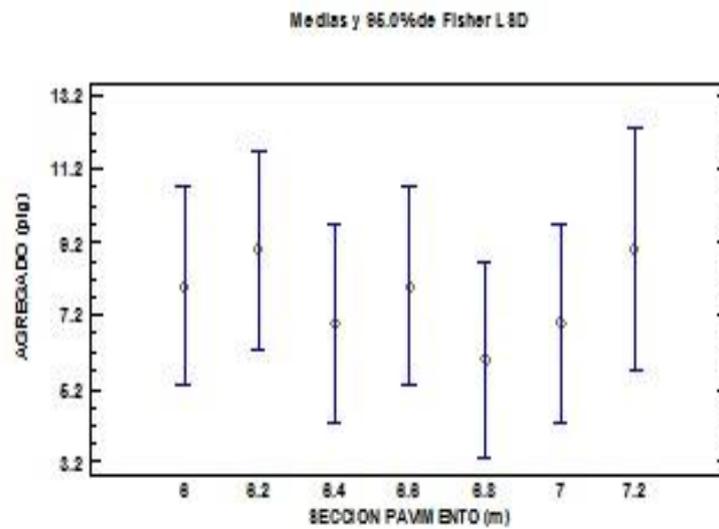


Figura 14: Resumen Estadístico para SECCION PAVIMENTO (m)

Resumen Estadístico entre las muestras del agregado y la sección del pavimento, comparando la máxima capacidad del agregado.

Cuadro N 19: Análisis de Varianza para humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: agregado	15.1051	1	15.1051	0.83	0.4288
B: sección	0.22815	1	0.22815	0.01	0.9178
AA	14.4006	1	14.4006	0.79	0.4386
AB	4.3681	1	4.3681	0.24	0.6573
BB	5.32467	1	5.32467	0.29	0.6256
Error total	54.4225	3	18.1408		
Total (corr.)	93.8491	8			

R-cuadrada = 42.0106 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.0 porciento

Error estándar del est. = 4.25921

Error absoluto medio = 2.15679

Estadístico Durbin-Watson = 2.3415 (P=0.2736)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.203779

Según el cuadro N 19, ANOVA nos indica la variabilidad de humedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

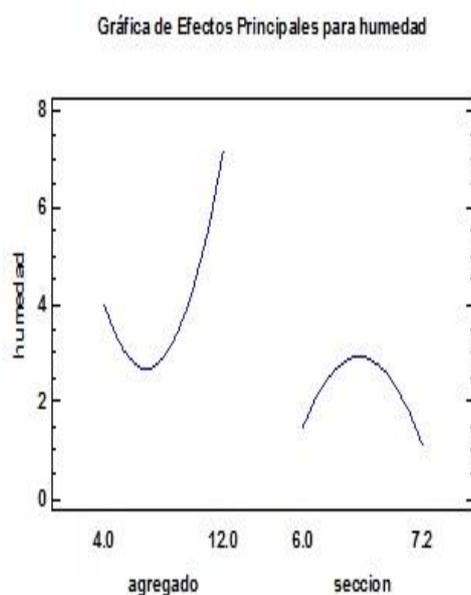


Figura 15: Efectos de la Humedad

Efectos de Humedad entre las muestras del agregado y la seccion del pavimento, comparando la capacidad máxima que contiene el agregado.

4.1.2.5. Análisis de Superficie de Respuesta

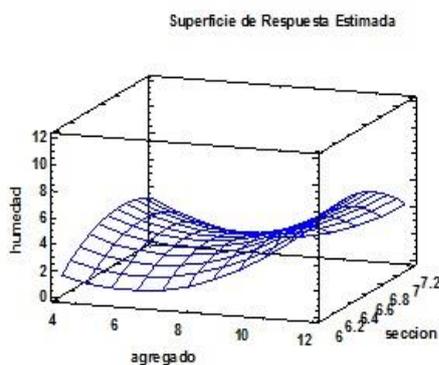


Figura 16: superficie de respuesta estimada

Superficie de Respuesta entre las muestras del agregado y la sección del pavimento, comparando la capacidad y humedad del agregado.

Según el figura N 16, identificado por la siguiente ecuación:

$$\text{humedad} = -207.799 + 0.587083 \cdot \text{agregado} + 62.9861 \cdot \text{sección} + 0.167708 \cdot \text{agregado}^2 - 0.435417 \cdot \text{agregado} \cdot \text{sección} - 4.53241 \cdot \text{sección}^2.$$

Valor optimo cuando interactúa el agregado, con sección de la siguiente tabla.

Optimización de Respuesta

Meta: maximizar humedad

Valor óptimo = 7.42337

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
agregado	4.0	12.0	12.0
sección	6.0	7.2	6.37203

Este cuadro muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza humedad sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de los resultados comparación de variables 1 sobre la variable 2 con su influencia sobre los agregados.

Los valores que se reportan de las variables corridas en la toma de datos que se indican.

Variable X: Deflexión

X1: Tráfico vehicular.

X2: Humedad Relativa.

X3: Área del pavimento (Sección Estructural).

Variable Y: Capa de rodadura del pavimento flexible

Y1: Asfalto, Agregados

Fueron procesados y reportados en los cuadros 10 y 15 generando las figuras del 7 al 16 estos resultados coinciden estadísticamente con lo reportado por Gonzales (2015), Montes (2003).

5.2. Discusión de la Contrastación de las hipótesis estadísticamente

Los rechazos de las hipótesis nulas fueron comprobados con las pruebas de las medias, medianas, pruebas de múltiple rango, variación de la variancia, la mediana de Mood y comprobadas con la prueba de Kruskal Wallis que establecieron el rechazo de las hipótesis nulas generadas de la hipótesis genera y específicas del estudio como lo recomienda Gonzales (2015) y Montes (2003).

Los valores físico-reportados en el comportamiento del asfalto contra la sección del pavimento nos dan un nivel de confianza del 95%.

5.3. Resumen estadístico de la comparación de varias muestras respecto su influencia en la Presión.

Los reportes de los cuadros 10 y 15 y la figuras del 7 al 16 dicen que hay una relación entre la deflexión y la capa de rodadura del pavimento flexible, según lo indica Gonzales (2015) y Montes (2003). que luego se comprueba en la superficie de respuesta.

5.4. Discusión sobre la Superficie de Respuesta.

Los cuadros 14 y 19 y las figuras 11 y 16 indican la variación en la superficie de respuestas en la optimización del valor Optimo de la Humedad Relativa, nos da los valores del asfalto y de los agregados un valor optimo, para el asfalto de 2.0 Plg con una sección de 6.56138 m, y para los agregados(base, subbase) 12.0 Plg con una sección de 6.37203 m, tal como lo indica el MTC(2013), Norma CE 010 Pavimentos Urbanos, Gonzales (2015) y Montes (2003).

VI. CONCLUSIONES

El asfalto y los agregados son materiales del paquete estructural del pavimento flexible, se complementa con la deflexión para poder determinar una mejora de materiales para poder evitar las diferentes fallas que se encontró en la vía estudiada. Se propuso hacer el estudio de calicata y verificar las fallas existentes y darle una mejora en sus materiales, para poder dosificar la resistencia y el cálculo necesario para en estudio de tráfico habitual como de la del distrito de San Juan de Lurigancho, con cada uno de sus factores comprobando siempre el reglamento, las normas y el manual de carreteras utilizadas en el proceso constructivo.

El asfalto o carpeta asfáltica es la capa superficial del paquete estructural del pavimento flexible, El estado del pavimento flexible de la Avenida Santa Rosa es de abundante demanda, por tal motivo se procede a un procedimiento de mejora en el espesor del asfalto, debido a la cantidad de vehículos circulantes por esta avenida es alta, las cargas axiales sometidas a la capa de rodadura generan diversos deterioros, fallas, grietas, hundimientos, etc.

Los agregados es la capa interna del paquete estructural que contiene 2 capas; la base y la sub base, son estas capas a las cuales la carpeta asfáltica traspasa las cargas del tránsito vehicular, son componentes las cuales generan las propiedades mecánicas tales como las fallas de deformación, exudación, piel de cocodrilo y cargas de tránsito.

VII. RECOMENDACIONES

Con carácter general, se recomienda usar materiales de agregado y asfalto con un valor óptimo reglamentado y supervisar estos trabajos realizados en campo, debido a las distintas fallas funcionales que existen en campo, y supervisar al ente ejecutor durante el periodo de mantenimiento concebido para el proyecto.

Aplicar la mejora del espesor del asfalto, debido al ser esta una avenida muy transitada por vehículos ligeros, pesado, transporte público; lo cual reduciría considerablemente la transitabilidad vehicular en dicho tramo de la Avenida Santa Rosa.

Implementar a los agregados aditivos a las 2 capas, para mejorar su capacidad óptima de resistencia ya que esta soporta las cargas transmitida de la transitabilidad vehicular.

Se recomienda ampliar el estudio de evaluación de las fallas de los pavimentos tanto flexibles como rígidos en el distrito de San Juan de Lurigancho, con el fin de localizar tramos que presentes deterioros para lograr identificar los tipos de fallas y las posibles soluciones o mantenimiento adecuado según se requiere el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aliaga Chávez & Manuel Jesús (2003), Tesis: “ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CORRAL QUEMADO – RIO NIEVA TRAMO 1”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- GAMBOA, Karla (2009) Tesis: “Cálculo del índice de condición aplicado en del pavimento flexible en la Av. Las Palmeras de Piura”.
- Gómez Vallejos Susan Jackeline (2014). Tesis: “DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL ANILLO VIAL DEL ÓVALO GRAU”. Universidad Privada Antenor Orrego
- Gonzales (2015), Tesis: “FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR, CAJAMARCA, 2015”. Universidad privada del norte
- Herrera Uribe Nader Pamela (2014), Tesis: “ESTUDIO DEL PAVIMENTO DE LAS VÍAS DEL BARRIO SALACALLE, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA SAQUISILÍ, CANTÓN SAQUISILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES”. Universidad Técnica de Abanto
- Néstor W. Huamán Guerrero (2011), Tesis: “LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ”. Universidad Nacional de Ingeniería
- Montes Iván & Palacios Julio (2013), Tesis: “LA IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO.”

- M. Fonseca, Tesis: “INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS Segunda Edición, Bogotá – Colombia, Año 2002”. Universidad Nacional Autónoma de México
- Medina Palacios Armando - De La Cruz Puma Marcos (2015). Tesis: “EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JR. JOSÉ GÁLVEZ DEL DISTRITO DE LINCE APLICANDO EL MÉTODO DEL PCI”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
- Miranda Rebolledo Ricardo Javier (2010), Tesis: “DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS”. Universidad Austral de Chile
- Pérez Madrigal Domingo (2012), Tesis: “ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PERFIL EN TRAMOS CARRETEROS Y ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA MEJORARLO.”. Universidad Nacional Autónoma de México
- Regalado (2015), Tesis: “Efecto de la acción del agua y del envejecimiento en la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas”. UPC BARCELONATECH
- Roberto, Iris & Ingrid (2009), Tesis: “EVALUACION DE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS ASFALTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR”. Universidad de El Salvador
- Rodríguez Velásquez Edgar Daniel (2009), Tesis: “CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. LUIS MONTERO, DISTRITO DE CASTILLA”. Universidad de Piura
- MTC (2013), Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas generales para construcción
- Norma CE 010 Pavimentos Urbanos

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOS
<p>Problema General: ¿Cómo se relaciona la deflexión y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016?</p> <p>Problemas Específicos: ¿Cómo se relaciona el trafico (tipo- volumen) y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016?</p> <p>¿Cómo se relaciona la sección estructural y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016?</p> <p>¿Cómo se relaciona la temperatura & humedad y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016?</p>	<p>Objetivo General Conocer La deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016.</p> <p>Objetivos Específicos Identificar el trafico (tipo- volumen) sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016.</p> <p>Identificar la sección estructural sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016.</p> <p>Identificar la temperatura y humedad sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho – Lima en el año 2016.</p>	<p>Hipótesis General Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función del asfalto y los agregados.</p> <p>Hipótesis Específicas Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función del asfalto. Deflexión sobre la capa de rodadura del pavimento flexible, en la Avenida Santa Rosa - San Juan de Lurigancho está en función de los agregados.</p>	<p>Variable 1 Deflexión</p> <p><i>Indicadores</i> Humedad Sección Trafico</p> <p>Variable 2 Capa de rodadura del pavimento flexible</p> <p><i>Indicadores</i> Asfalto Agregados</p>	<p>MÉTODO El método es inductivo- deductivo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Descriptivo Correlacional</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Experimental Factorial</p> <p>POBLACIÓN la población será la cantidad de muestras obtenidas en el trayecto de la vía Santa Rosa</p> <p>MUESTRA 11 calicatas</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS Muestras de suelo, de acuerdo con el tipo de ensayo que se va a realizar Balde limpio. Pala limpia Cinta métrica Bolsas plásticas Método de Diseño de Pavimentos Urbanos CE 010 Pavimentos - urbanos</p>

ANEXO 2: Matriz de Operacionalización

DEFINICION DE VARIABLES		
Variable 1	Indicadores	Unidades
Deflexión: Transitabilidad de Vehículos – Temperatura – Sección Estructural	Tráfico vehicular	Vehículos / h
	Humedad Relativa	Porcentaje %
	Área Pavimento	m
Variable 2	Indicadores	Unidades
Capa de rodadura del pavimento flexible	Asfalto	Pulgadas
	Agregados (Base, Sub Base, Subrasante)	Pulgadas

ANEXO 3: Evaluación del Pavimentos Método PCI

1.0. Piel de cocodrilo

L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas.

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas.

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico.

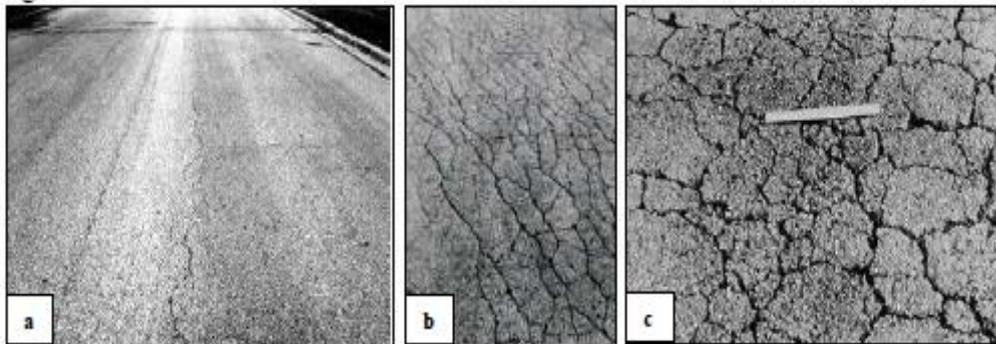


Figura 17: Falla de piel de cocodrilo

Piel de cocodrilo de nivel de severidad Bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla estas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

2.0. Exudación

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos.

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año.

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año.



Figura 18: Falla de Exudación

Exudación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrados.

3.0. Agrietamiento múltiple

L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad.

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad.

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad.

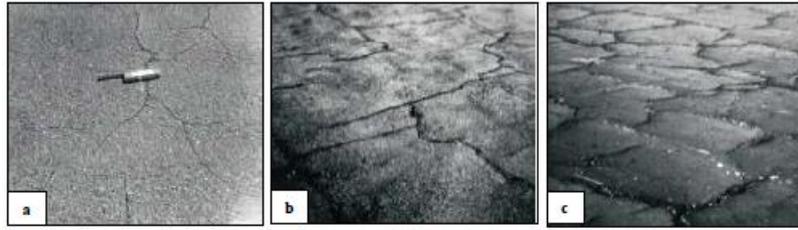


Figura 19: Falla de Agrietamiento múltiple

Fisuras en bloque de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un sólo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

4.0. Abultamientos y hundimientos

L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad.

M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad.

H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad. Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad.

Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo.

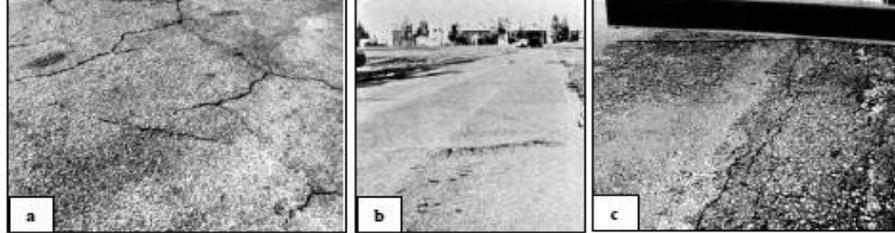


Figura 20: Falla de Abultamiento y Hundimiento

Hundimientos de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales. Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

5.0. Corrugación

L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, ya no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad.

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad.



Figura 21: Falla de Corrugación

Corrugación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c),

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

6.0. Depresión

L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm.

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm.

H – La depresión tiene más de 50 mm.

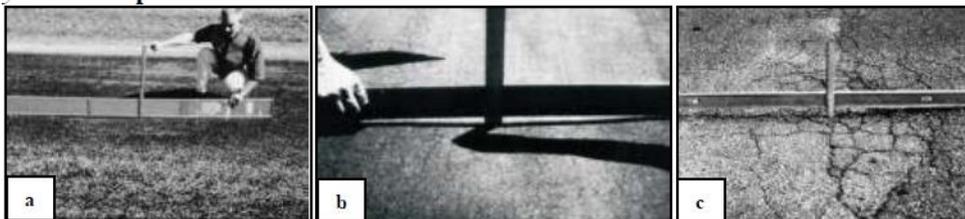


Figura 22: Falla de Depresión

Depresión de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

7.0. Fisura de borde

L – Se da un bajo o mediano fisuramientos sin fragmentación.

M – Se aprecia un mediano fisuramientos con alguna fragmentación.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde.

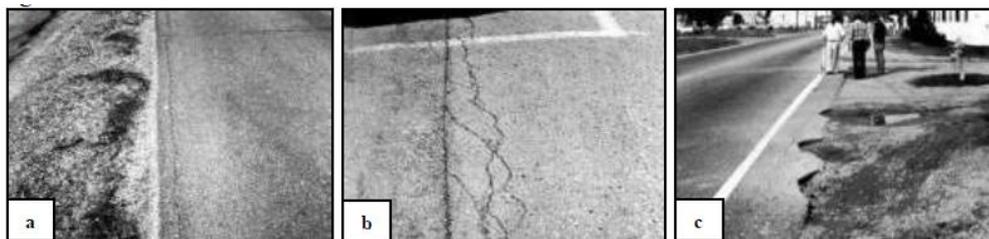


Figura 23: Falla de Fisura de borde

Fisura de borde de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

8.0. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones).

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado.

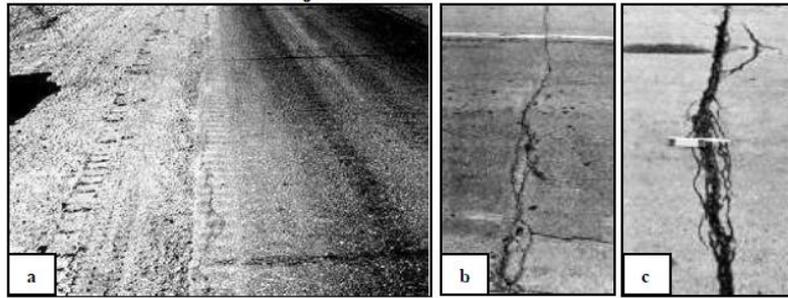


Figura 24: Falla de Fisura de reflexion

Fisura de reflexión de junta de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado. Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

9.0. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm.

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm.

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm.



Figura 25: Falla de Desnivel de carril

Desnivel de carril de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

10.0. Fisuras longitudinales y transversales

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones).

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado.



Figura 26: Fisura Longitudinal y trasversal

Fisuras de niveles de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

11.0. Parches y parches de cortes utilitarios

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad.

M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad.

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad.

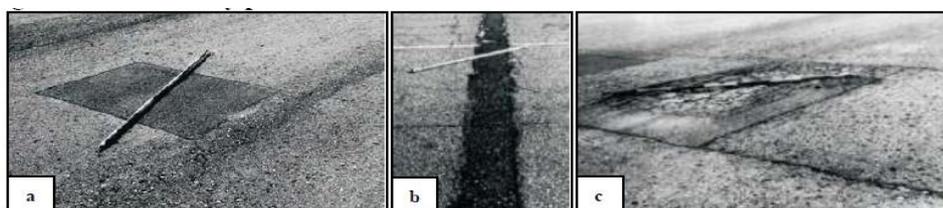


Figura 27: Parches y Parches utilitarios

Parches de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, estas áreas deben ser medidas y registradas por separado. Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

12.0. Agregado pulido

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto.

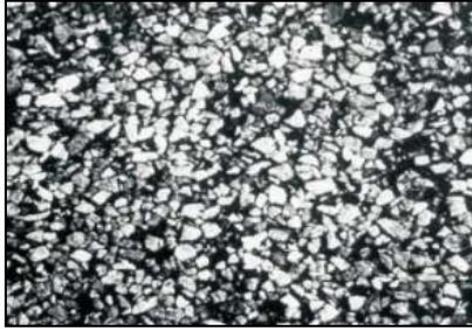


Figura 28: Agregado pulido

El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

13.0. Baches

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro pueden ser baja, media y alta. Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad, en cambio si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad.

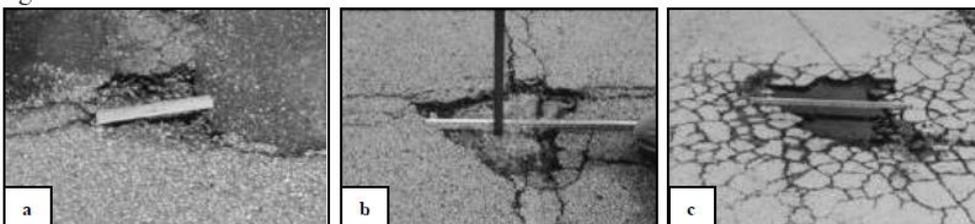


Figura 29: Baches

baches de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Los baches no son medidos sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

14.0. Cruce de Ferrocarril

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla.

Unidad de medida – El cruce de los ferrocarriles será medrado por el ancho de la misma y longitud en metros cuadrados.

15.0. Canalizaciones

L – La depresión superficial, causada por ruedas de vehículos, varía en 6 y 13 mm.

M – La depresión va entre 13 y 25 mm.

H – La depresión es mayor a 25 mm.

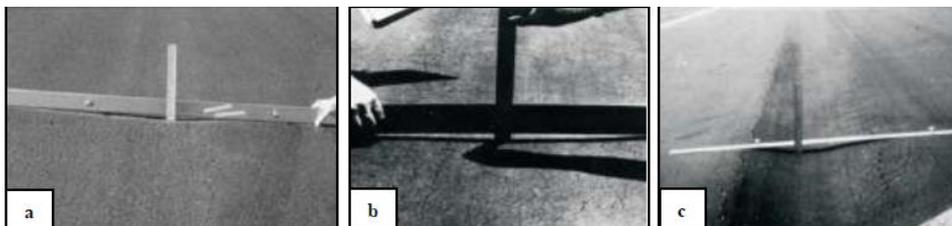


Figura 30: Canalizaciones
canalizaciones de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

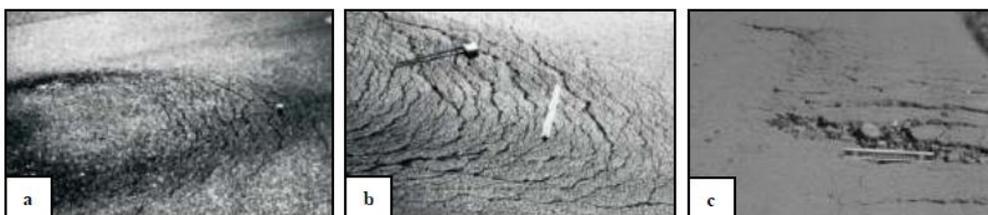
Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

16.0. Fisura parabólica o por deslizamiento

L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas.



**Figura 31: Fisura parabólica o por deslizamiento
fisura parabólica de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)**

Unidad de medida – Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

17.0. Desplazamiento

L – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad.

M – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad.

H – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad.



Figura 32: Falla por desplazamiento
desplazamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)

Unidad de medida – Los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado.

18.0. Hinchamiento

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta.



Figura 33: Falla por hinchamiento
hinchamiento de alta severidad

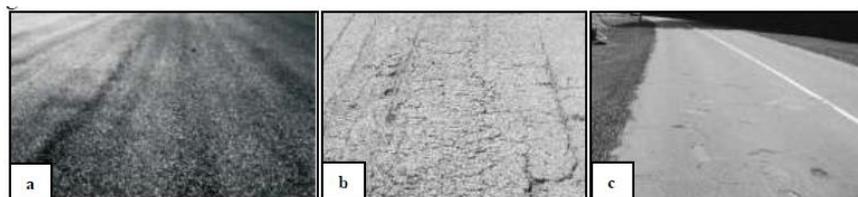
Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

19.0. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda.

M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite, la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda.

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los derrames de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse.



**Figura 34: Falla por peladura
peladura de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c)**

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

20.0. Rango de Clasificación Metodología PCI

Cuadro Índice de condición de pavimento

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

ANEXO 4: Inspección visual Av. Santa Rosa



Figura 35: Foto 1

Falla Piel de cocodrilo de Severidad Bajas



Figura 36: Foto 2

Falla Piel de cocodrilo Severidad medio, bache Severidad Baja



Figura 37: Foto 3

Falla Bache Severidad medio



Figura 38: Foto 4

Falla Bache Severidad medio



Figura 39: Foto 5

Falla Fisura parabólica Nivel de severidad Bajo



Figura 40: Foto 6

Falla Bache Severidad medio



Figura 41: Foto 7

Falla Piel de cocodrilo Severidad medio



Figura 42: Foto 8

Falla de Peladura nivel de severidad bajo



Figura 43: Foto 7

Falla de Peladura nivel de severidad bajo



Figura 44: Foto 10

Falla Bache Severidad medio



Figura 45: Foto 11
Falla Bache Severidad medio



Figura 46: Foto 12
Falla Piel de cocodrilo severidad medio, parches de nivel bajo



Figura 47: Foto 13
Falla Bache Severidad alto



Figura 48: Foto 14
Fisura de Borde nivel Medio



Figura 49: Foto 15

Falla Bache Severidad alto



Figura 50: Foto 16

Falla Piel de Cocodrilo nivel de severidad medio



Figura 51: Foto 17

Falla Piel de Cocodrilo nivel de severidad medio



Figura 52: Foto 18

Fisura de Borde nivel Medio



Figura 51: Foto 19

Falla Bache Severidad alto



Figura 52: Foto 20

Falla Bache Severidad alto, piel de cocodrilo bajo



Figura 53: Foto 21

Falla Bache Severidad alto, piel de cocodrilo bajo



Figura 54: Foto 22

Hundimientos nivel severidad bajo



Figura 55: Foto 23

Hundimientos nivel severidad bajo, bache severidad medio



Figura 56: Foto 24

Falla de bache severidad medio



Figura 57: Foto 25

Falla de Peladura nivel de severidad bajo, bache nivel medio



Figura 58: Foto 26

Falla Bache Severidad alto



Figura 59: Foto 27

Falla de Peladura nivel de severidad medio



Figura 60: Foto 28

Hinchamiento de baja severidad



Figura 61: Foto 29

Hinchamiento de baja severidad, Falla Bache Severidad medio



Figura 62: Foto 30

Falla piel de cocodrilo nivel alto, Falla Bache Severidad alto

ANEXO 5: Validación de Instrumentos

Cuadro de Resumen de Calicatas



PROYECTO ELABORACION DE ESTUDIOS DE LA AV. SANTA ROSA "EVALUACION DEL TRAMO AV. LOS JARDINES – AV. EL SOL"

SOLICITADO JAIR GARCIA VILLANUEVA

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Clasificación AASTHO	DISTRIBUCION GRANULOMETRICA						LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
					% DE GRAVA		% DE ARENA			% DE FINOS				
					GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA					
C-1	M-1	0.04-0.34	GM	A-1-a(0)	23.72	29.16	13.00	10.01	9.26	14.85	22.73	21.61	1.12	5.11
C-1	M-2	0.34-3.00	GP-GM	A-1-b(0)	20.96	29.03	4.12	5.48	30.90	9.51	22.16	21.11	1.05	11.82
C-2	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-2-4(0)	12.84	16.57	8.18	11.10	40.10	11.21	23.88	22.65	1.23	1.28
C-2	M-2	0.34-3.00	SP	A-3(0)	0.00	0.00	0.77	7.48	89.42	2.33	0.00	0.00	0.00	1.04
C-3	M-1	0.04-0.34	SM	A-1-b(0)	12.43	24.38	7.62	8.80	30.76	16.01	24.50	23.44	1.06	3.66
C-3	M-2	0.34-3.00	SP	A-3(0)	0.00	0.00	1.04	4.32	91.60	3.04	0.00	0.00	0.00	3.17
C-4	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-1-b(0)	17.86	24.29	6.60	6.75	35.31	9.19	21.41	0.00	0.00	1.37
C-4	M-2	0.34-3.00	SP	A-3(0)	0.00	0.00	2.03	7.39	88.28	2.30	0.00	0.00	0.00	1.02
C-5	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-1-b(0)	10.07	29.85	12.75	12.30	25.20	9.83	15.04	0.00	0.00	4.10
C-5	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-2-4(0)	0.00	0.00	8.74	3.16	77.10	11.00	23.43	22.21	1.21	1.85
C-6	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-3(0)	16.15	14.83	5.91	8.91	45.57	8.63	20.11	0.00	0.00	1.11
C-6	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-3(0)	0.00	4.10	4.06	10.97	73.55	7.32	18.52	0.00	0.00	1.42
C-7	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-1-b(0)	22.21	23.01	6.25	6.39	33.44	8.70	20.28	0.00	0.00	1.30
C-7	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-3(0)	0.00	0.00	1.48	7.21	85.69	5.62	0.00	0.00	0.00	1.83
C-8	M-1	0.04-0.34	SM	A-1-b(0)	14.76	19.81	11.69	16.57	24.57	12.60	19.29	18.29	1.00	2.04
C-8	M-2	0.34-3.00	SP	A-3(0)	0.00	0.00	2.63	1.14	92.96	3.27	0.00	0.00	0.00	2.50
C-9	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-1-b(0)	17.46	15.69	7.75	10.51	37.97	10.62	22.61	21.45	1.16	1.21
C-9	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-3(0)	0.00	0.00	0.28	2.35	90.79	6.58	16.65	0.00	0.00	1.45
C-10	M-1	0.04-0.34	SM	A-1-b(0)	17.07	23.09	7.22	8.33	29.13	15.16	23.20	22.20	1.00	3.47
C-10	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-3(0)	0.00	0.00	2.38	6.97	84.00	6.65	16.82	0.00	0.00	3.55
C-11	M-1	0.04-0.34	SP-SM	A-1-b(0)	16.78	24.61	6.68	6.84	35.78	9.31	21.69	0.00	0.00	1.95
C-11	M-2	0.34-3.00	SP-SM	A-2-4(0)	0.00	5.64	1.93	3.20	78.09	11.14	23.73	22.50	1.23	3.15