

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“VERIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MECANÍSTICO-EMPÍRICA
USANDO MODELOS DE DESEMPEÑO (SOFTWARE CR-ME Y FPS 21)
APLICADO A LA AV. TRINIDAD MORAN, DISTRITO DE CAYMA,
PROVINCIA AREQUIPA Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Mayhuire Huamaní, José Miguel

Tipismana Martínez, Samuel Ronny

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Gamarra Tuco, Rubén

Arequipa – Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma, provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

José Miguel Mayhuire Huamani


Samuel Ronny Tipismana Martínez


Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado sin observaciones

OBSERVACIONES:

Arequipa, 07 de Mayo del 2019


Ruba Zamora
Cod 3044


COD. 2564

JUAN CARLOS TEJADA C.
COD. 2530

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mi madre, Gricelda, gracias a ella soy quien soy, por el apoyo que me dio desde pequeño, por la confianza que tenía en mí. Gracias por enseñarme a ser mejor persona y luchar por lo que quiero.

Gracias a mi papá, a mi hermano Miguel y toda mi familia, por el apoyo día a día que mostraron y el entendimiento que tuvieron conmigo.

Gracias a Diana, por acompañarme estos años y exigir el desarrollo constante de mi tesis y por la preocupación para poder realizar este trabajo. Gracias por exigirme ser mejor cada día y por hacer que todo sea mejor.

Gracias a Samuel, mi compañero de tesis, con quien tras varios meses de arduo trabajo le agradezco por el conocimiento compartido y por todos los buenos y malos momentos que pasamos durante la universidad.

José Miguel Mayhuire Huamaní

DEDICATORIA

A Dios por siempre estar a mi lado, darme las fuerzas necesarias en cada momento de mi vida y guiarme en cada paso que he tomado.

Dedico la presente tesis a mis padres Ronny y Rocío, por ser las personas más importantes de mi vida, demostrarme su amor y comprensión en todo momento, y apoyarme incondicionalmente en cada reto que he asumido.

A Fiorella por estar conmigo durante todo este proceso, por las alegrías, tristezas, paciencia y amor, animarme en cada momento para poder cumplir esta meta.

A mis familiares que siempre me apoyaron en toda mi vida, sus consejos y ánimo para poder lograr cada sueño.

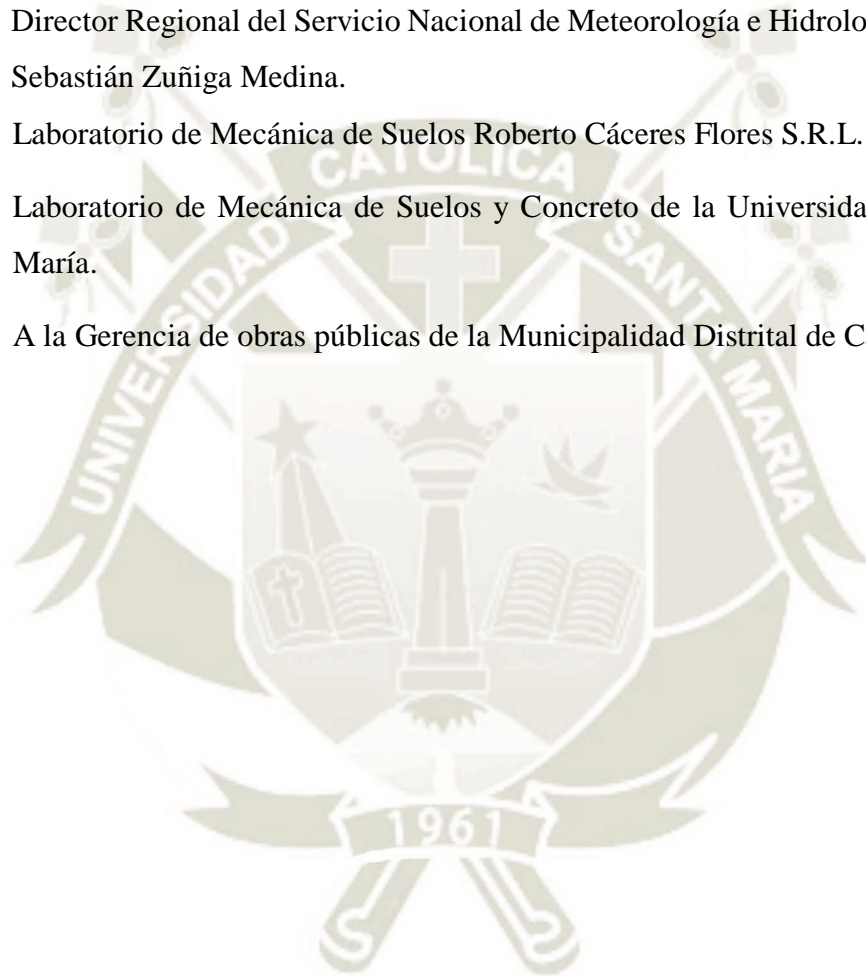
Gracias a José, mi compañero de tesis, por todo este tiempo de trabajo, conocimientos, experiencias compartidas y amistad.

Para Uds.

Samuel Ronny Tipismana Martínez

AGRADECIMIENTOS

- Mst. Esp. Ing. Rubén Gamarra Tuco, Docente de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente de la UCSM, asesor de tesis, amigo y apoyo fundamental.
- Mst. Esp. Ing. Neidy Betssey Patiño Boyacá, por brindarnos su tiempo y apoyo.
- Director Regional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ing. Sebastián Zuñiga Medina.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos Roberto Cáceres Flores S.R.L.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Universidad Católica Santa María.
- A la Gerencia de obras públicas de la Municipalidad Distrital de Cayma.



INTRODUCCIÓN

La metodología mecanístico-empírico ha cobrado mayor importancia en el análisis y evaluación de los pavimentos flexibles a nivel global, llevando a cada país a realizar su propia guía de diseño y factores de calibración, puesto que las condiciones climáticas y características de materiales en cada lugar son distintas, AASHTOWare 2015 es el último software reconocido mundialmente para el diseño de los pavimentos, pero no es comercial puesto que tiene un costo de precio elevado y solo es accesible para grandes empresas; es por ello por lo cual que existen softwares simplificados mecanístico-empírico; en la presente investigación se utilizará el software CR-ME (Costa Rica) y FPS 21 (Texas, EE.UU.), para conocer su funcionamiento y confiabilidad los aplicaremos a un caso real, la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma- Arequipa, para la corroboración y/o calibración para ser aplicados a nuestra realidad.

Conociendo la problemática de los pavimentos flexibles en Arequipa, sea por diseños subdimensionados o la no realización de estrategias de mantenimiento y/o rehabilitación para asegurar la vida útil de estos. Se ve la necesidad de analizar los pavimentos mediante metodologías cada vez más avanzadas dándonos a conocer de una manera más exacta la parte estructural y funcional; y realizar propuestas de diseño, mantenimiento y rehabilitación a las vías de nuestra ciudad.

Se realizó un estudio detallado del expediente técnico y de liquidación de la Av. Trinidad Morán en los cuales se puede conocer en su totalidad el procedimiento constructivo, ensayos de calidad y las características de los materiales empleados en cada capa que compone el pavimento.

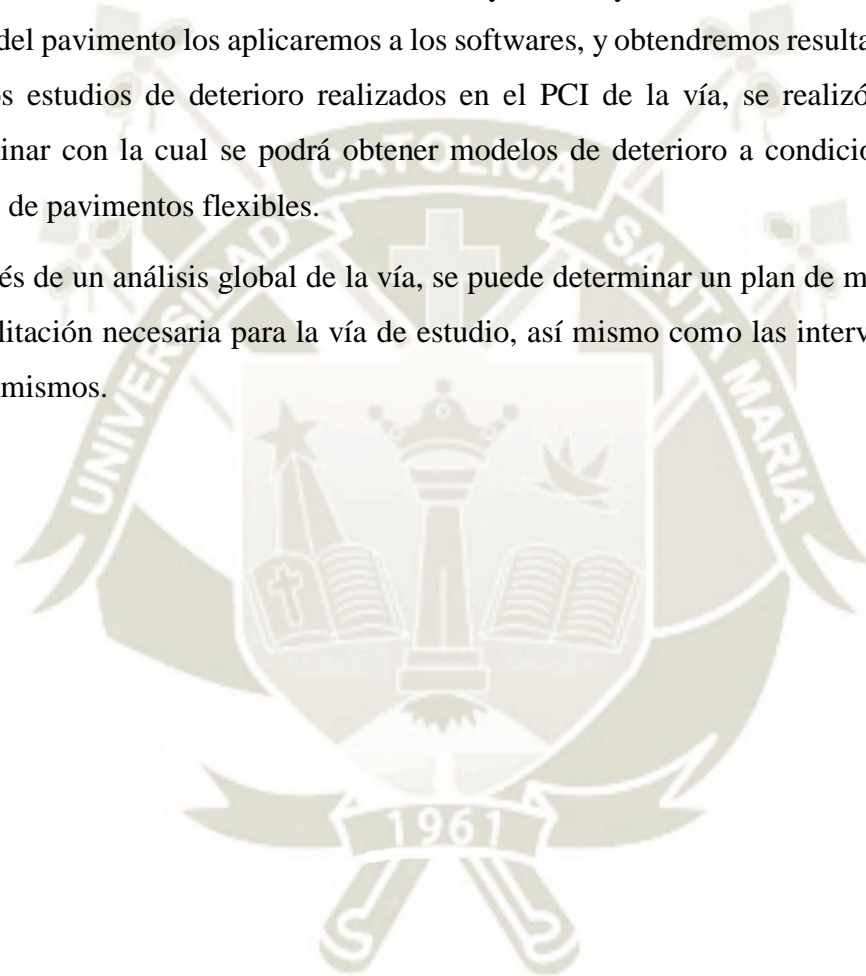
Es necesario conocer todas características reales de la estructura del pavimento, así como su estado actual, es decir índice de rugosidad, Deflectometría, tipos de fallas existentes y evaluación de las capas del pavimento. Estos datos serán utilizados en los programas de metodología mecanístico-empírico.

Así también se realizará un estudio de tránsito actual, con el cual obtendremos un valor de ejes equivalente de carga actual y a futuro; con el cual con las características de los materiales del pavimento se realizará un diseño AASHTO 93, comparando con el paquete estructural existente y verificar si la vía se encuentra súper-dimensionada o subdimensionada.

A través del ensayo con el deflectómetro de impacto (HWD), se realizó un estudio de deflexiones, con los cuales utilizando metodologías de ecuaciones de retrocálculo podemos obtener los módulos resilientes de las capas estructurales del pavimento y compararlas con los valores de CBR obtenidos en laboratorio. Y partir del cuenco de deflexiones del ensayo se puede obtener el número estructural efectivo y verificar con el número estructural del diseño y ver si necesita un refuerzo estructural.

Con los módulos resilientes del retrocálculo y los ensayos realizados a los materiales de las capas del pavimento los aplicaremos a los softwares, y obtendremos resultados de deterioro, con los estudios de deterioro realizados en el PCI de la vía, se realizó una calibración preliminar con la cual se podrá obtener modelos de deterioro a condiciones locales para diseño de pavimentos flexibles.

Después de un análisis global de la vía, se puede determinar un plan de mantenimiento y/o rehabilitación necesaria para la vía de estudio, así mismo como las intervenciones y costo de los mismos.



RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo determinar las ventajas y desventajas que tienen los softwares CR-ME y FPS 21 para la aplicación en el diseño de pavimentos siguiendo la metodología mecanístico-empírica según el MEPDG 2015. El tramo de estudio es parte de la av. Trinidad Morán ubicada en el distrito de Cayma de Arequipa, dicho tramo tiene 430 m de largo por 6m de ancho en la mayor parte.

Inicialmente se desarrolla el marco teórico con los conocimientos necesarios acerca de la metodología mecanístico empírica, el ensayo de deflectometría y el origen de los softwares. Seguidamente se detalla las especificaciones constructivas de la Av. Trinidad Morán en el año 2010 según el expediente técnico, cuaderno de obra y expediente de liquidación.

En los capítulos posteriores se muestran los resultados obtenidos de caracterización de los materiales que fueron extraídos mediante calicatas; y aquellos ensayos no destructivos por regularidad superficial y deflectometría de impacto (HWD).

Se elaboró el estudio de tránsito para el cálculo de ejes equivalentes del 2010-2018 y poder proyectarlo hasta el 2030. Con esto se realizó el diseño del pavimento flexible según la metodología AASHTO 93 a manera de retrospección y poder compararlo con el Expediente Técnico.

Posteriormente se encuentran los datos y el procedimiento utilizado para el cálculo del índice de Thornthwaite para el periodo 2010-2018.

Con los datos obtenidos de la vía, los materiales de construcción, el clima y el tránsito se realizó la prueba en los softwares CR-ME y FPS 21 para obtener la magnitud de los deterioros, compararlos a la situación actual y establecer los factores de calibración local.

Finalmente, se propone el plan mejoramiento y mantenimiento que requiere la vía actualmente, además del refuerzo estructural que será necesario ante el tránsito futuro.

Palabras claves: mecanístico-empírica, deflectometría, CR-ME, FPS 21.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to determine the advantages and disadvantages of the CR-ME and FPS 21 software for the application in the design of pavements following the mechanistic-empirical methodology according to the MEPDG 2015. The study section is part of the av. Trinidad Morán located in the Cayma district of Arequipa, said stretch is 430 m long and 6m wide in most.

Initially, the theoretical framework is developed with the necessary knowledge about the empirical mechanistic methodology, the deflectometry test and the origin of the softwares. Following is a detailed construction specifications of the Av. Trinidad Morán in 2010 according to the technical file, worksheet and liquidation file.

In the later chapters the results obtained of characterization of the materials that were extracted by test pits are shown; and those non-destructive tests by superficial regularity and impact deflectometry (HWD).

The traffic study was prepared for the calculation of equivalent axes of 2010-2018 and to be able to project it until 2030. With this, the design of the flexible pavement according to the AASHTO 93 methodology was done in a retrospective way and to be able to compare it with the Technical File.

Subsequently, the data and the procedure used to calculate the Thornthwaite index for the period 2010-2018 are found.

With the data obtained from the road, construction materials, climate and traffic, the CR-ME and FPS 21 software was tested to obtain the magnitude of the deteriorations, compare them to the current situation and establish the calibration factors local.

Finally, the improvement and maintenance plan that the road currently requires is proposed, in addition to the structural reinforcement that will be necessary in the face of future traffic.

Key words: mechanistic-empiric, deflectometry, CR-ME, FPS 21.

INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INTRODUCCIÓN	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE IMÁGENES	
INDICE DE GRÁFICOS	
CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. HIPOTESIS.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	2
1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACION.....	3
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	3
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	5
2.1.1. Definición:.....	5
2.1.2. Estructura:.....	6
2.1.3. Características.....	7
2.2. FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	8
2.3. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTO FLEXIBLES.....	15
2.3.1. Mantenimiento menor.....	17
2.3.2. Mantenimiento mayor.....	18
2.4. TEORÍA MECANICISTA.....	18
2.4.1. Método Boussinesq.....	18
2.4.2. Método Burmister (teoría multicapa).....	20
2.4.3. Método de espesores equivalentes.....	21
2.5. DISEÑO EMPÍRICO AASHTO 93.....	23
2.6. DISEÑO MECANÍSTICO EMPÍRICO GUIA AASHTO MEPDG 2015.....	25
2.6.1. Importancia y uso del diseño mecanístico- empírico.....	25
2.6.2. Ventajas del diseño mecanístico-empírico.....	26
2.6.3. Estructura y componentes del diseño mecanístico-empírico.....	27
2.6.4. Metodología de predicción de indicadores de desempeño.....	28
2.6.5. Información General del Proyecto.....	29
2.6.6. Criterios de Diseño y nivel de confiabilidad.....	30
2.6.7. Datos de entrada.....	32
2.7. SOFTWARES SIMPLIFICADOS.....	32

2.7.1. CR-ME.....	32
2.7.2. FPS 21.....	33
2.8. EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTO	34
2.8.1. Índice de condición del pavimento (PCI)	34
2.8.2. Ensayo de rugosidad (rugosímetro de merlín).....	37
2.8.3. Ensayo de Deflectometría (HWD)	38
2.8.3.1. Componentes del deflectómetro de peso pesado (HWD).....	39
2.8.3.2. Factores que influyen en la determinación de deflexiones.....	42
2.8.3.3. Cálculo de módulos dinámicos a partir de los valores de deflexión	43
2.9. ESTUDIO DE TRANSITO	55
2.9.1. Introducción.....	55
2.9.2. Clasificación Vehicular	55
2.9.3. Crecimiento del transito.....	57
2.9.4. Ejes equivalentes de Carga.....	57
2.9.5. Calculo de EALF	58
2.9.6. Calculo de ESAL	60
2.10. IMPLEMENTACION CLIMATICA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS	60
2.10.1. Introducción.....	60
2.10.2. Importancia de los factores climáticos en el diseño de pavimentos	61
2.10.3. Índice de Humedad de THORNTHWAITE (TMI)	63
2.10.4. Importancia del TMI en el diseño de pavimentos	64
CAPITULO III	66
3. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO CONSTRUIDO.....	66
3.1. INTRODUCCION	66
3.2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO.....	66
3.3. LOCALIZACION Y UBICACIÓN	67
3.4. DESCRIPCION DEL TRAMO DE ESTUDIO	68
3.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	68
3.5.1. Diseño de la estructura del pavimento flexible	70
3.6. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA	70
3.6.1. Tipo de Cemento asfáltico.....	70
3.6.2. Gradación propuesta de agregados	70
3.7. CONTROL DE CALIDAD	73
CAPITULO IV	74
4. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA	74
4.1. DETERMINACION DE SECCIONES A EVALUAR.....	74
4.2. EVALUACION DESTRUCTIVA DEL PAVIMENTO	74
4.2.1. Espesores de capas.....	75
4.2.2. Perfil estratigráfico	75
4.2.3. Clasificación granulométrica	76
4.2.4. Ensayo de Próctor Modificado (compactación)	77
4.2.5. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)	78
4.2.6. Lavado Asfáltico.....	79
4.2.7. Ensayos de caracterización de agregados	80
4.2.7.1. Gravedad Específica	80
4.2.7.2. Equivalente de Arena.....	81
4.2.7.3. Caras fracturadas	81

4.2.7.4.	Durabilidad al sulfato de magnesio	82
4.2.7.5.	Sales solubles.....	82
4.2.7.6.	Abrasión de los Ángeles	83
4.3.	ENSAYO NO DESTRUCTIVO DEL PAVIMENTO	84
4.3.1.	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	85
4.3.2.	Índice de rugosidad (Rugosímetro de MERLIN)	88
CAPITULO V.....		90
5.	EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA CON HWD.....	90
5.1.	CUENCO DE DEFLEXIONES	90
5.1.1.	Corrección por carga	92
5.1.2.	Corrección por temperatura	92
5.1.3.	Profundidad de capa rígida	96
5.1.4.	Módulo de la subrasante	98
5.2.	BACKCALCULATION (RETROCÁLCULO)	102
5.2.1.	Ajuste a los módulos de retrocálculo.....	106
5.2.2.	Comparación de los módulos resilientes	110
5.3.	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA	111
5.3.1.	Número estructural	111
5.3.1.1.	Determinación del SN_{eff} según la guía AASHTO-93	112
5.3.1.2.	Determinación del SN_{eff} según el método de Rohde	112
5.3.1.3.	Determinación del SN_{eff} según el método YONAPAVE.....	113
5.3.1.4.	Comparación del SN_{eff} según los 3 métodos	114
CAPITULO VI		115
6.	ESTUDIO DE TRÁNSITO	115
6.1.	DETERMINACIÓN DEL CARRIL DE MÁXIMA DEMANDA.....	115
6.2.	TRÁNSITO	118
6.2.1.	Volumen de tránsito.....	118
6.2.2.	Tránsito promedio diario Anual (TMDA)	120
6.2.3.	Tasa de crecimiento	122
6.2.3.1.	PBI (Producto Bruto Interno)	123
6.2.3.2.	Parque Automotor estimado en Arequipa	124
6.2.4.	Determinación de tránsito medio diario anual al 2010.....	125
6.2.5.	Composición de tránsito	126
6.2.6.	Determinación de tránsito futuro	126
6.3.	EJES EQUIVALENTES DE CARGA.....	128
6.3.1.	Serviciabilidad	128
6.3.2.	Determinación del SN (Numero estructural).....	128
6.3.3.	Calculo de EALF	137
6.3.4.	Determinación de ESAL.....	140
6.4.	VERIFICACION DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	142
6.4.1.	Determinación de ESAL futuro	142
6.4.2.	Diseño AASHTO 93.....	143
6.4.3.	Calculo del número estructural.....	147
6.5.	ESTUDIO DE VELOCIDADES	148
6.5.1.	Estudio de velocidad de punto.....	148
6.6.	ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR.....	155
CAPITULO VII.....		157

7.	VARIABLES CLIMATICAS EN PAVIMENTOS	157
7.1.	DATOS CLIMATICOS.....	157
7.1.1.	Precipitación Media Mensual	158
7.1.2.	Temperatura Media Mensual.....	159
7.2.	INDICE DE HUMEDAD DE THORNTHWAITE (TMI).....	160
7.2.1.	Calculo Del Indice De Humedad De Thornthwaite (Tmi)	160
CAPITULO VIII.....		168
8.	ANÁLISIS DE SOFTWARES MECANÍSTICOS-EMPÍRICOS.....	168
8.1.	SOFTWARE CR-ME	168
8.1.1.	Interfaz Principal del Programa	168
8.1.2.	Interfaz de Tránsito.....	169
8.1.3.	Interfaz Clima	172
8.1.4.	Interfaz de Materiales	173
8.1.4.1.	Carpeta asfáltica	174
8.1.4.2.	Base y Subbase granular.....	176
8.1.4.3.	Subrasante.....	177
8.1.5.	Modelos de Predicción o Desempeño	178
8.1.6.	Resultados.....	179
8.2.	SOFTWARE FPS 21	181
8.2.1.	Datos de Diseño básico.....	181
8.2.2.	Datos de control.....	182
8.2.3.	Datos de tráfico.....	183
8.2.4.	Datos de construcción y mantenimiento.....	184
8.2.5.	Datos de desvío para recapado	185
8.2.6.	Tipos de diseño.....	185
CAPITULO IX		193
9.	CALIBRACION PRELIMINAR DE SOFTWARE MECANISTICO-EMPIRICO. 193	
9.1.	CALIBRACION	193
9.2.	COMPARACION DE FALLAS RELEVADAS	193
9.3.	ECUACIONES DE MODELOS DE PREDICCION.....	196
9.3.1.	Análisis de sensibilidad de ecuación de agrietamiento relacionado a la carga	196
9.3.1.1.	Agrietamiento de abajo hacia arriba (piel de cocodrilo)	197
9.3.1.2.	Agrietamiento de arriba hacia abajo (fisuras longitudinales).....	197
9.3.2.	Análisis de sensibilidad de la ecuación de Ahuellamiento.....	204
9.3.3.	Calibración preliminar del programa CR-ME	208
9.3.4.	Resultados del programa calibrado.....	208
CAPITULO X.....		211
10.	PLAN DE MANTENIMIENTO	211
10.1.	EVALUACIÓN GLOBAL DEL PAVIMENTO	211
10.1.1.	Evaluación de deterioros del pavimento	211
10.1.2.	Evaluación funcional del pavimento	213
10.1.3.	Evaluación estructural del pavimento.....	214
10.2.	REFUERZO ESTRUCTURAL	216
10.2.1.	AASHTO 93	216
10.2.2.	Diseño mecánico-empírico (CR-ME).....	219

10.3. TRATAMIENTO O MANTENIMIENTO DE DAÑOS	223
10.4. PRESUPUESTO DEL MANTENIMIENTO	225
CAPITULO XI	226
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	226
11.1 CONCLUSIONES.....	226
11.2 RECOMENDACIONES	228
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	230
ANEXOS.....	234



INDICE DE TABLAS

Capítulo II

Tabla N°2.1. Fallas en pavimentos flexibles	9
Tabla N°2.2. Resultados de grafica curva deterioro de un pavimento	16
Tabla N°2.3. Características según el tipo mantenimiento.....	17
Tabla N°2.4. Indicadores de desempeño AASHTOWare Pavement design	29
Tabla N°2.5. Periodo de Análisis	30
Tabla N°2.6. Criterios de desempeño o umbrales recomendados	31
Tabla N°2.7. Niveles de confiabilidad recomendados	31
Tabla N°2.8. Parámetros de entrada AASHTOWare Design 2015	32
Tabla N°2.9. Longitudes de unidad de muestreo.....	36
Tabla N°2.10. Ventajas y desventajas de los deflectómetros de impacto	39
Tabla N°2.11. Condición en función del índice estructural	45
Tabla N°2.12. Coeficientes de ajuste A, B, m, n.....	48
Tabla N° 2.13. Coeficientes del modelo de Hogg	52
Tabla N°2.14. Fundamentos de la teoría del retrocálculo	53
Tabla N°2.15. Equivalencia entre categorías FHWA y MTC	56
Tabla N°2.16. Pesos y medidas vehiculares	56

Capítulo III

Tabla N°3.1. Metas del proyecto	66
Tabla N°3.2. Tipo de mezcla asfáltica en proyecto	68
Tabla N°3.3. Diseño del pavimento flexible	69
Tabla N°3.4. Número estructural y espesor del pavimento.....	69
Tabla N°3.5. Espesores finales de diseño.....	70
Tabla N°3. 6. Granulometría de combinación de Agregados.....	71
Tabla N°3.7. Características de la mezcla diseñada	71
Tabla N°3.8. Resumen de Ensayo Marshall	72
Tabla N°3 .9. Lavado Asfáltico en construcción.....	73

Capítulo IV

Tabla N°4.1. Espesores de Capas	75
Tabla N°4.2. Clasificación SUCS y AASHTO SUBRASANTE	76
Tabla N°4.3. Clasificación SUCS y AASHTO SUBBASE	77
Tabla N°4.4. Clasificación SUCS y AASHTO BASE	77
Tabla N°4.5. Resumen de resultados Próctor Modificado	78
Tabla N°4.6: Resumen de Ensayo CBR	78
Tabla N°4.7. Contenido de asfalto.....	79
Tabla N°4.8. Granulometría del agregado del Asfalto	79
Tabla N°4.9. Resumen ensayo gravedad específica	81
Tabla N°4.10. Resumen equivalente de Arena.....	81
Tabla N°4.11. Resumen ensayo Caras Fracturadas	82
Tabla N°4.12. Resumen ensayo Durabilidad al sulfato de magnesio.....	82
Tabla N°4.13. Resumen ensayo Sales solubles	83
Tabla N°4.14. Resumen ensayo Abrasión de los Ángeles	83

Tabla N°4. 15. Requisitos de Calidad para subbase granular.....	84
Tabla N°4. 16. Requisitos de calidad para base granular	84
Tabla N°4.17. Resumen de valores de PCI	86
Tabla N°4.18: Resumen de metrado de fallas	88
Tabla N°4.19. Datos de calibración del rugosímetro MERLIN	88
Tabla N°4.20. IRI Carril izquierdo.....	89
Tabla N°4.21. IRI Carril derecho	89

Capítulo V

Tabla N°5.1. Información de la toma de datos	90
Tabla N°5.2. Mediciones tomadas por el equipo HWD	91
Tabla N°5.3. Deflexiones corregidas por carga (40 KN)	92
Tabla N°5.4. Temperatura del Asfalto.....	93
Tabla N°5.5. Corrección por Temperatura MOPT	93
Tabla N°5.6. Deflexiones corregidas por método MOPT	93
Tabla N°5.7. Deflexiones corregidas por método AASHTO	95
Tabla N°5.8. Deflexiones corregidas por el método del Instituto del Asfalto.....	95
Tabla N°5.9. Datos para la profundidad de capa rígida.....	97
Tabla N°5.10. Resultados para profundidad de Capa Rígida.....	98
Tabla N°5.11. Datos y resultados del método de Yonapave	99
Tabla N°5. 12. Valores para la iteración del método AASHTO	100
Tabla N°5.13. Ejemplo de iteración para el cálculo del Mr de la subrasante.....	100
Tabla N°5.14. Resultados de la metodología AASHTO para Mr de subrasante y Módulo efectivo del pavimento.....	100
Tabla N°5.15. Resultados método de Hogg	101
Tabla N°5.16. Resultados de la estimación del módulo de la subrasante	101
Tabla N°5.17. Espesores a utilizar en el software RUBICON	102
Tabla N°5.18. Valores de módulo resiliente para materiales	103
Tabla N°5.19. Módulo resiliente CBR	103
Tabla N°5.20. Valores típicos de Poisson	104
Tabla N°5.21. Resultados Módulo resiliente (MPA)	106
Tabla N°5.22. Módulos corregidos de la carpeta asfáltica	107
Tabla N°5. 23. Valores C para convertir valores del módulo resiliente calculado a un módulo resiliente equivalente de laboratorio.....	108
Tabla N°5.24. Módulos corregidos para la base granular	108
Tabla N°5.25. Módulos corregidos para subbase granular.....	108
Tabla N°5.26. Factor de ajuste para suelos de subrasante de acuerdo con el tipo de suelo	109
Tabla N°5.27. Módulos corregidos para subrasante.....	109
Tabla N°5.28. Comparación de módulos resilientes	110
Tabla N°5.29. Número estructural por método AASHTO 93	112
Tabla N°5.30. Coeficientes de fórmula de Rohde	113
Tabla N°5.31. Numero estructural por el método de Rohde	113
Tabla N°5.32. Numero estructural por método Yonapave	113

Capítulo VI

Tabla N° 6.1. Conteo Vehicular de Av. Trinidad Morán y Av. Cayma.	116
Tabla N° 6.2. Volumen de transito de una semana Carril Derecho Av., Trinidad Morán	119

Tabla N° 6. 3. Cálculo para la desviación estándar	121
Tabla N° 6. 4. PBI anual en Arequipa	123
Tabla N° 6. 5. Parque Automotor estimado en Arequipa	124
Tabla N° 6. 6. Composición del tránsito al 2010.....	126
Tabla N° 6. 7. Tránsito proyectado al 2030.....	127
Tabla N° 6. 8. Serviciabilidad AASHTO 93	128
Tabla N° 6. 9. Flujo y estabilidad ensayo Marshall del expediente técnico.....	129
Tabla N° 6. 10. Valores CBR para para base granular	130
Tabla N° 6. 11. Valores CBR para subbase granular	131
Tabla N° 6. 12. Espesores del pavimento	132
Tabla N° 6. 13. Tiempo de drenaje.....	132
Tabla N° 6. 14. Características de cada material	134
Tabla N° 6. 15. Cantidad de agua que puede drenar por gravedad	134
Tabla N° 6. 16. EALF por tipo de eje.....	137
Tabla N° 6. 17. Número de ejes por tipo de vehículo	138
Tabla N° 6. 18. Espectro de carga	139
Tabla N° 6. 19. Factor de distribución de carril	140
Tabla N° 6. 20. EALF por tipo de vehículo.....	141
Tabla N° 6. 21. Calculo ESAL 2018	142
Tabla N° 6. 22. Cálculo ESAL 2030	143
Tabla N° 6. 23. Valores recomendados de nivel de confiabilidad según rango de tráfico	144
Tabla N° 6. 24. Valores Zr para distintas confiabilidades.....	144
Tabla N° 6. 25. Desviación estándar según tipo predicción de transito	145
Tabla N° 6. 26. CBR subrasante.....	145
Tabla N° 6. 27. Percentil de diseño en función al W18.....	146
Tabla N° 6. 28. Percentil en función de CBR.....	146
Tabla N° 6. 29. Determinación del Número estructural	148
Tabla N° 6. 30. Frecuencia de velocidades Tramo II	149
Tabla N° 6. 31. Distribución de frecuencias de velocidades de punto- Tramo I.....	150
Tabla N° 6. 32. Distribución de frecuencias de velocidades de punto-Tramo II	151
Tabla N° 6. 33. Intervalos de velocidad media.....	154

Capítulo VII

Tabla N°7. 1. Precipitación media mensual Estación la Pampilla.....	158
Tabla N°7. 2. Promedio precipitación media mensual	159
Tabla N°7. 3. Temperatura media mensual Estación la Pampilla	159
Tabla N°7. 4. Calculo del ETP anual.....	162
Tabla N°7. 5. Calculo del TMI mensual para el año 2008	164
Tabla N°7. 6. Promedio del cálculo de TMI mensual para el periodo 2008-2018.....	165
Tabla N°7. 7. Comparación anual del cálculo de TMI.....	166
Tabla N°7. 8. Cálculo del TMI para el promedio periodo de 10 años.....	167

Capítulo VIII

Tabla N°8.1. Datos de tránsito CR-ME.....	171
Tabla N°8.2. Índice de Humedad de Thornthwaite a utilizar en CR-ME	172
Tabla N°8.3. Temperatura promedio mensual a utilizar en CR-ME.....	173
Tabla N°8.4. Módulo resiliente base y subbase	176
Tabla N°8.5. Módulo resiliente de la subrasante.....	177

Tabla N°8.6. Criterios de Aceptación CR-ME.....	178
Tabla N°8.7. Variaciones de datos de salida	182
Tabla N°8.8. Valores de Módulos para FPS 21	186

Capítulo IX

Tabla N°9.1. Resumen total de metrado de fallas	194
Tabla N°9.2. Medidas de Ahuellamiento	195
Tabla N°9.3. Comparación de resultados	195
Tabla N°9.4. Resultados modificando el Bf1	199
Tabla N°9.5. Resultados modificando el Bf2	200
Tabla N°9.6. Resultados modificando el Bf3	201
Tabla N°9.7. Resumen de Variación por falla tipo piel de cocodrilo.....	201
Tabla N°9.8. Resumen de Variación agrietamiento longitudinal.....	202
Tabla N°9.9. Coeficientes de calibración más cercanos.....	203
Tabla N°9.10. Resultados Ahuellamiento modificando el Br1	205
Tabla N°9.11. Resultados modificando el Br2	206
Tabla N°9.12. Resultados modificando el Br3	207
Tabla N°9.13. Resultados programa calibrado daño por fatiga.....	208

Capítulo X

Tabla N°10.1. Resumen resultados PCI	211
Tabla N°10.2. Fallas existentes en la Av. Trinidad Morán	212
Tabla N°10.3. Resultados CR-ME calibrado.....	212
Tabla N°10.4. Clasificación del pavimento según la serviciabilidad	213
Tabla N°10.5. Valores PSI e IRI	213
Tabla N°10.6. Comparaciones de diseños AASHTO 93	214
Tabla N°10.7. Número estructural efectivo AASHTO.....	215
Tabla N°10.8. ESAL de diseño para refuerzo	217
Tabla N°10.9. Cálculo del Número estructural de refuerzo	218
Tabla N°10.10. Espesor de Refuerzo estructural.....	218
Tabla N°10.11. Propiedades de carpeta asfáltica de refuerzo	220
Tabla N°10.12. Resultado del programa calibrado para el refuerzo	221
Tabla N°10.13. Metrado de Fallas existentes en la Av. Trinidad Morán	223
Tabla N°10.14. Metrado de fallas según intervención	224
Tabla N°10.15. Área total de la Av. Trinidad Morán.....	224
Tabla N°10.16. Partidas a ejecutar	225

INDICE DE IMÁGENES

Capítulo II

Imagen N°2.1. Sección Típica pavimento flexible.....	5
Imagen N°2.2. Esquema de comportamiento de pavimento flexible	6
Imagen N°2.3. Esfuerzos según Boussineq	19
Imagen N°2.4. Teoría multicapa de Burmister.....	21
Imagen N°2.5. Teoría de espesores equivalentes	21
Imagen N°2.6. Ubicación del experimento vial de la ASSHO sobre la autopista interurbana I-80.....	23
Imagen N°2.7. Grafica de predicción de desempeño	26
Imagen N°2.8. Componentes del Diseño mecanístico empírico	27
Imagen N°2.9. Hoja de campo para calificación PCI.....	35
Imagen N°2.10. Escala de PCI y tipo de intervención	36
Imagen N°2.11. Medición de la desviación de la superficie respecto de la cuerda promedio	37
Imagen N°2.12. Sistema CP 15 (HWD).....	40
Imagen N° 2.13 Configuración de los geófonos y placa de carga.....	41
Imagen N° 2.14. Representación de dos cuencos de deflexión con una misma deflexión máxima (d_0)	44
Imagen N°2.15. Representación del índice estructural.....	45
Imagen N°2.16. Zonas de cuenco de deflexiones.....	46
Imagen N°2.17. Inverso de la distancia del geófono vs deflexión medida por el mismo ...	47
Imagen N° 2.18. Algoritmo del método de retrocálculo AASHTO 1993	50
Imagen N° 2.19. Esquema del cuenco de deflexiones.....	54
Imagen N°2.20. Características del cuenco de deflexiones.....	54
Imagen N°2.21. Factor clima sobre la superficie del pavimento.....	61

Capítulo III

Imagen N°3.1. Tramo del proyecto	67
--	----

Capítulo IV

Imagen N°4.1: Av. Trinidad Moran Carril derecho	74
Imagen N°4.2. Perfil estratigráfico.....	75
Imagen N°4.3. Formato de calificación para unidad de muestreo.....	85

Capítulo V

Imagen N°5.1. Interfaz del programa RUBICON " BACKCALCULATION"	104
Imagen N°5.2. Análisis del cuenco de deflexiones	105

Capítulo VI

Imagen N° 6.1. Ubicación de estaciones Av. Trinidad Morán y Av. Cayma.....	115
Imagen N° 6.2. Flujo vehicular Av. Trinidad Moran Carril derecho	118
Imagen N° 6.3. Geometría de la base	133
Imagen N° 6.4. Ubicación Tramo I y II.....	149

Capítulo VII

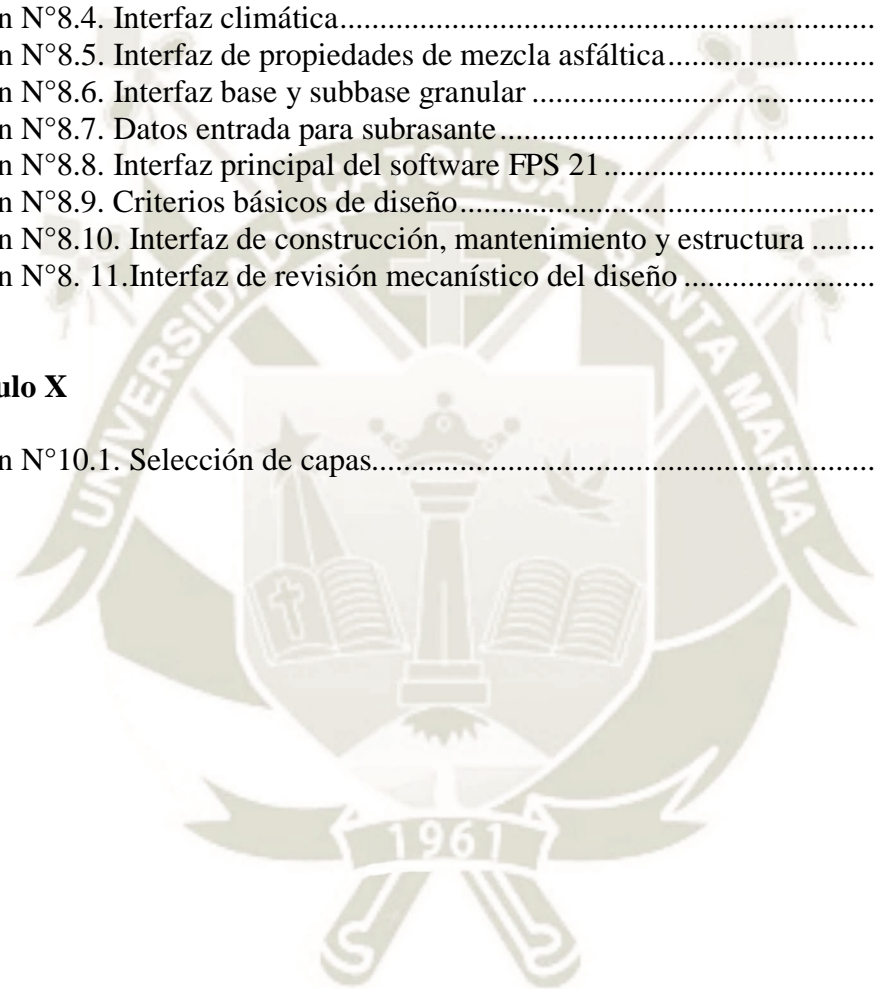
Imagen N°7.1. Mapa de estaciones meteorológicas	157
---	-----

Capítulo VIII

Imagen N°8.1. Interfaz principal del programa	169
Imagen N°8.2. Interfaz de ejes equivalentes de carga	170
Imagen N°8.3. Interfaz Ejes equivalentes de carga	171
Imagen N°8.4. Interfaz climática	173
Imagen N°8.5. Interfaz de propiedades de mezcla asfáltica	174
Imagen N°8.6. Interfaz base y subbase granular	177
Imagen N°8.7. Datos entrada para subrasante	178
Imagen N°8.8. Interfaz principal del software FPS 21	181
Imagen N°8.9. Criterios básicos de diseño	184
Imagen N°8.10. Interfaz de construcción, mantenimiento y estructura	186
Imagen N°8. 11. Interfaz de revisión mecánico del diseño	188

Capítulo X

Imagen N°10.1. Selección de capas	219
---	-----



INDICE DE GRÁFICOS

Capítulo II

Gráfico N°2.1. Curva de deterioro de un pavimento.....	15
Gráfico N°2.2. Diagrama de flujo conceptual de la tres etapas del diseño	28

Capítulo IV

Grafico N°4.1. Curva Granulométrica del agregado de Asfalto.....	80
Grafico N°4.2. Perfil del índice de la condición del pavimento (PCI).....	87
Grafico N°4.3: Histograma del Carril Izquierdo de subida	89

Capítulo V

Grafico N°5.1. Coeficiente de ajuste por temperatura para pavimentos flexibles con base granular.....	94
Grafico N°5.2. Factor de Ajuste según el instituto del Asfalto	95
Grafico N°5.3. Inverso de la distancia del geófono vs deflexión.....	97
Grafico N°5.4. Comparativa de los resultados de estimación de Mr	102
Grafico N°5.5. Módulo de la carpeta asfáltica	107
Grafico N°5. 6. Módulos resilientes de las capas no ligadas.....	110
Grafico N°5. 7. Comparación de los valores de CBR de laboratorio y retrocálculo.....	111
Grafico N°5.8. Comparación de los valores de SNeff.....	114

Capítulo VI

Gráfico N° 6.1. Número de vehículos Av. Cayma	117
Gráfico N° 6.2. Número de vehículos Av. Trinidad Morán.....	117
Gráfico N° 6. 3. Línea de tendencia exponencial PBI Arequipa	124
Gráfico N° 6. 4. Línea de tendencia exponencial Parque Automotor	125
Gráfico N° 6. 5. Tránsito proyectado al 2030.....	127
Gráfico N° 6. 6. Coeficiente estructural para capas asfálticas (a1)	129
Gráfico N° 6. 7. Coeficiente estructural para base (a2).....	130
Gráfico N° 6. 8. Coeficiente estructural para subbase (a3)	131
Gráfico N° 6. 9. Ábaco para el cálculo de la permeabilidad k	136
Gráfico N° 6. 10. Espectro de ejes simples	139
Gráfico N° 6. 11. Espectro de ejes Tándem	139
Gráfico N° 6. 12. Espectro de ejes Tridem.....	140
Gráfico N° 6. 13. Percentil 87.5 para CBR	146
Gráfico N° 6. 14. Histograma y polígono de frecuencia-Tramo I.....	150
Gráfico N° 6. 15. Curva de frecuencia acumulada-Tramo I.....	151
Gráfico N° 6. 16. Histograma y polígono de frecuencia	152
Gráfico N° 6. 17. Curva de frecuencia observada y velocidad media-Tramo II	153
Gráfico N° 6. 18. Percentil 85 de velocidades.....	154
Gráfico N° 6. 19. Análisis de flujo vehicular	155
Gráfico N° 6. 20. Variación del volumen de tránsito	156

Capítulo VII

Gráfico N° 7. 1. Máxima precipitación anual Estación la Pampilla.....	158
Gráfico N° 7. 2. Diagrama de Flujo de Cálculo del TMI	160
Gráfico N° 7. 3. Comparación de métodos de cálculo de TMI	165
Gráfico N° 7. 4. Comparación del TMI anual	166
Gráfico N° 7. 5. Comparación de TMI para promedio de 10 años.....	167

Capítulo VIII

Gráfico N°8.1. Curva maestra de la mezcla asfáltica.	175
Gráfico N°8.2. Índice de daño por fatiga.....	179
Gráfico N°8. 3. Área agrietada (%)	179
Gráfico N°8.4. Agrietamiento longitudinal (pies/milla).....	180
Gráfico N°8.5. Ahuellamiento en la estructura del pavimento.....	180
Gráfico N°8. 6. Espesor de base vs vida remanente del pavimento por fisuramiento por fatiga (millones de ESALS).....	190
Gráfico N°8. 7. Espesor de base vs vida remanente del pavimento por ahuellamiento (millones de ESALS)	190
Gráfico N°8. 8. Variación de espesor de capa vs vida por fisuramiento, ahuellamiento. .	191

Capítulo IX

Gráfico N°9.1. Variación del daño tipo piel de cocodrilo	202
Gráfico N°9.2. Variación del daño tipo agrietamiento longitudinal.....	203
Gráfico N°9.3. Variación del ahuellamiento modificando el Br1	205
Gráfico N°9.4. Variación del ahuellamiento modificando el Br2	206
Gráfico N°9.5. Variación del ahuellamiento modificando el Br3	207
Gráfico N°9.6. Índice de daño CR-ME	209
Gráfico N°9.7. Área agrietada	209
Gráfico N°9.8. Agrietamiento longitudinal	210
Gráfico N°9. 9. Ahuellamiento total del pavimento	210

Capítulo X

Grafico N°10.1. Capacidad estructural según el tiempo	216
Grafico N°10.2. Área agrietada Refuerzo estructural.....	221
Grafico N°10.3. Agrietamiento longitudinal del refuerzo	222
Grafico N°10.4. Ahuellamiento total refuerzo	222

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento, esto debido a que es el medio que posibilita el transporte de las personas y las cargas, y desde un punto de vista más específico, permiten satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud.

Vías con desvíos permanentes y tramos deteriorados incrementan los costos de traslado, nuestra ciudad de Arequipa está en pleno progreso de acuerdo al avance de la infraestructura vial que se viene realizando en todos los distritos de nuestra ciudad, pero distintas vías de gran importancia se encuentran en malas situaciones, y estas presentan distintas fallas funcionales y en algunos casos fallas estructurales. A causa de esto la región de Arequipa viene invirtiendo una mayor cantidad de dinero en mantenimiento y/o rehabilitaciones antes de lo previsto, así también indirectamente se incrementan los costos de traslado.

El diseño de pavimentos en nuestro país se basa según la norma del MTC 2014 “Sección de Suelos y Pavimentos”, esta contempla la guía de diseño AASHTO 93. Esta metodología es empírica, basándose en años de estudio sobre tramos de prueba en Illinois, Estados Unidos, tomando solo en consideración material de la zona, así como solo los efectos climáticos propios de la región, teniendo en consecuencia diversas limitaciones como características físicas y químicas del material y entornos climáticos distintos a dicho tramo de prueba; es por esto que, tras varios años de estudio a través de estudios realizados, la experiencia y distintas aplicaciones; AASHTO ha incorporado el enfoque mecanicista basado en los principios fundamentales de esfuerzo y deformación y surge así el método empírico-mecanicista para el diseño de pavimentos en el año 2002.

Es por esto que es necesario implementar las nuevas metodologías de diseño de pavimentos en nuestra ciudad, considerando los distintos factores o variables de diseño que puedan asemejar el diseño al desempeño real del pavimento.

1.2. HIPOTESIS

Los softwares CR-ME y FPS 21 son apropiados para el diseño de pavimentos flexibles mediante la metodología mecanístico-empírica en Arequipa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Verificar la aplicación de los softwares CR-ME y FPS 21 de metodología mecanístico-empírica, aplicada a la Av. Trinidad Moran distrito de Cayma-Arequipa, luego de un análisis y calibración para la realidad de un pavimento construido en Arequipa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar un relevamiento visual de la vía analizar a través de la metodología PCI.
- b) Realizar un estudio de tránsito para la Av. Trinidad moran Carril derecho.
- c) Realizar ensayo de Deflectometría para verificación de la vía.
- d) Realizar el ensayo de rugosímetro de Merlín para obtener el valor de IRI.
- e) Determinar el estado actual de los materiales de fundación: Subrasante y base granular mediante ensayos de laboratorio.
- f) Comprobar el proceso constructivo con las solicitudes del expediente técnico.
- g) Analizar datos climáticos para su aplicación en los softwares.
- h) Aplicar los softwares CR-ME y FPS 21 conociendo su funcionalidad, las variables de diseño, así como sus limitaciones.
- i) Realizar una comparación de fallas encontradas en la vía con las predicciones de modelos de desempeño de los softwares a utilizar.
- j) Elaborar un plan de mantenimiento de acuerdo al estado actual de los tramos de la Av. Trinidad moran Carril derecho.

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La presente investigación tiene el propósito de implementar la metodología mecanístico-empírica en el diseño de pavimentos flexibles, que consideran parámetros importantes como son el clima, propiedades de los materiales a utilizar en las capas estructurales del pavimento.

Fomentar las nuevas metodologías en futuros tesis y cada vez aplicando mejores diseños de pavimentos flexibles, así también como en trabajos de mantenimiento y rehabilitaciones; al poder predecir las distintas fallas que pueda tener el futuro pavimento se podrá contar mayor información para realizar los expedientes técnicos de mantenimiento para garantizar la vida útil del pavimento.

Además, al abordar un caso real como es la construcción de una infraestructura vial como es una vía en la cual se puede hacer aportes puntuales que ayudan a toda persona que se dedique a la elaboración de expediente de infraestructura vial, empresas contratistas que realizan dicha ejecución, mejorando los proyectos para nuestra ciudad.

1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACION

La presente investigación comprende demostrar la metodología mecanístico-empírica en los pavimentos flexibles a través de software simplificados que se basan en ecuaciones de deformación y con datos estadísticos de diferentes investigaciones de predicción de fallas como ahuellamiento, fatiga en los distintos diseños para pavimentos, se puede mejorar la calidad de los pavimentos. Es así que se realizará una evaluación en la Av. Trinidad Moran y corroborar los modelos de desempeño de los softwares propuestos.

El presente estudio pretende promover una alternativa de diseño para pavimentos flexibles utilizando la parte mecanística en la determinación analítica-numérica de las respuestas de los pavimentos ante sollicitaciones mecánicas específicas.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

El proyecto de tesis se encuentra limitado a algunos ensayos a los materiales en Subrasante para el diseño mecanístico-empírico es necesario obtener el valor de módulo de resiliencia el cual lo hallaremos de una forma empírica a través de una correlación con el valor de CBR y a través de una comparación mediante el retrocálculo del cuenco de deflexiones.

El método mecanístico-empírico según la guía MEPGD 2015, en las variables de tránsito se usa el valor de espectro de carga para el diseño del pavimento, el cual no existen datos históricos de un espectro de carga aplicado en Arequipa y realizar dicho trabajo requeriría realizar un estudio de pesajes reales de los ejes del tráfico, lo cual

imposibilita la realización de esta por lo cual se usará el valor de ejes equivalentes de carga sobre la estructura del pavimento.



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1.1. Definición:

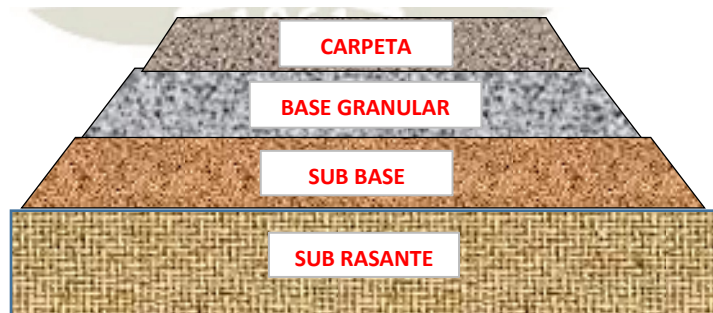
Según la AASHTO, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes denominados paquetes estructurales, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Los pavimentos flexibles tienen la propiedad de deflectarse o flexionarse de acuerdo a las cargas recibidas. Las capas estructurales del pavimento dependen de la necesidad de la vía.

Según Rico y del Castillo (1984), el pavimento flexible está compuesto por sub-base, base y carpeta asfáltica, el pavimento flexible debe proporcionar rodamiento uniforme. Como se muestra en la Imagen N°2.1.

Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, no obstante, se puede prescindir de cualquiera de estas de acuerdo a la necesidad de cada obra.

Imagen N°2.1. Sección Típica pavimento flexible

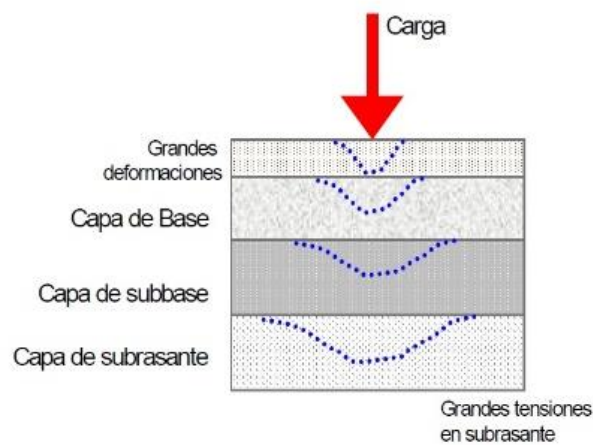


Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del pavimento flexible se debe al tener una superficie de rodadura con menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante, como se puede observar la Imagen N°2.2.

Imagen N°2.2. Esquema de comportamiento de pavimento flexible

Pavimentos Flexibles



Fuente: Manual centroamericano de diseño de pavimentos

2.1.2. Estructura:

Cada uno de las capas estructurales de un pavimento flexible tienen diferentes funciones, Alfonso Montejó detalla cada capa a continuación.

a) *Subrasante*

La sub-rasante es el nivel superior de la plataforma de una carretera donde se coloca la estructura del pavimento.

b) *Subbase granular*

Cumple una función principal netamente económica, la subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la Subrasante, la subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la Subrasante y actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la Subrasante la contaminen afectando su calidad.

c) *Base granular*

La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la

subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

d) Carpeta asfáltica

Es una superficie de rodamiento la cual debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito, hasta donde sea posible debe impedir el paso del agua al interior del pavimento y su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento (Montejo A., 2002).

2.1.3. Características

El pavimento flexible provee de distintas características, entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentra los siguientes:

a) Resistencia estructural

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tiene los producidos por la aceleración, el freno de los vehículos y esfuerzo de tensión en los niveles superiores de la estructura.

b) Durabilidad

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar al camino, depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

c) Requerimientos de conservación

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformación y derrumbes.

d) Comodidad

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere transitar a la velocidad del proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

e) Costo

Tiene una importante influencia en la construcción de un pavimento ya que en diseño el modelo que se impone a los demás siempre será el más económico (Rico y del castillo. 1984).

2.2. FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales de construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados son la causa del deterioro progresivo del pavimento. (Rodríguez, 2009, p.10)

Se pueden dar fallas que causan un deterioro en el paquete estructural, provocando un cambio en la transmisión de esfuerzos mediante cargas externas, así también pueden afectar la transitabilidad, la calidad, estética y seguridad.

La norma ASTM D6433-18, nos permite conocer las fallas existentes en los pavimentos flexibles, así como un nivel de severidad por cada daño en la estructura del pavimento, mediante la norma podemos dividir las fallas de la siguiente manera:

Agruparemos los daños en 4 categorías:

- Fisuras y grietas
- Deformaciones superficiales
- Desprendimientos
- Otras fallas (ASTM D6433-18, 2018).

En la Tabla N°2.1, observamos las fallas de pavimento flexibles por cada categoría, se dará una descripción por cada falla.

Tabla N°2.1. Fallas en pavimentos flexibles

FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	
Fisuras y grietas	Piel de cocodrilo
	Agrietamiento en bloque
	Grieta de borde
	Grieta de reflexión de junta
	Grietas longitudinales y transversales
	Grietas parabólicas
Deformaciones superficiales	Abultamientos y hundimientos
	Corrugación
	Depresión
	Ahuellamiento
	Desplazamiento
	Hinchamiento
Desprendimientos	Huecos
	Desprendimiento de agregados
Otras fallas	Exudación
	Desnivel carril-berma
	Parcheo
	Pulimento de agregados
	Cruce de vía férrea

Fuente: ASTM D6433-18

a) *Piel de cocodrilo*

La piel de cocodrilo es una serie de grietas interconectadas que forman polígonos irregulares de hasta 0.5m de longitud, llamada también agrietamiento por fatiga, este tipo de falla se produce en áreas sujetas a repeticiones de carga de tráfico.

El agrietamiento empieza en la parte inferior de la superficie del asfalto donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son elevados, las grietas se propagan como una serie de grietas longitudinales paralelas. Otra causa existente es el envejecimiento del ligante asfáltico, por consecuencia existe la pérdida de flexibilidad del pavimento.

b) *Agrietamiento en bloque*

Este tipo de agrietamiento son grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de tamaño variable, desde aproximadamente 0.30m x 0.30m hasta 3.00m x 3.00m. Las grietas en bloque son causadas principalmente por

la contracción del concreto asfáltico y por la variación de temperatura, que origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria. Esta falla indica que el asfalto se ha endurecido significativamente

Generalmente ocurre en una gran área del pavimento, pero a veces ocurrirá solo en áreas de tráfico.

c) Grieta de borde

Las fisuras de borde son grietas paralelas al borde externo del pavimento, que se encuentran a una distancia de 0.30 a 0.50 m de éste. Ese tipo de falla se incrementa por la carga de tránsito y se origina debido al debilitamiento de la base o de la Subrasante en áreas muy próximas al borde del pavimento, a causa de condiciones climáticas o por efecto abrasivo de arena suelta en el borde, que provoca peladuras que conducen a la desintegración.

d) Grieta de reflexión de junta

Las fisuras de reflexión de junta ocurren solamente en pavimentos mixtos: pavimentos de superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto. Estas grietas son causadas por el movimiento de la losa de concreto, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de pavimento flexible. No están relacionadas a efectos de carga; sin embargo, las cargas de tráfico pueden causar la rotura de la superficie de concreto asfáltico cerca de las fisuras.

e) Grietas longitudinales y transversales

Las grietas longitudinales son paralelas al eje de la vía del pavimento y son causadas por juntas de construcción pobremente construidas, así como la contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas, al endurecimiento del asfalto o la variación diaria de temperatura

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en aproximadamente en ángulos rectos a la línea central del pavimento, este tipo de grietas no están asociadas a la carga.

f) Grietas parabólicas

Las grietas parabólicas tienen forma de media luna, generalmente en dirección del tránsito. Se producen al frenar o girar las llantas haciendo que la superficie del pavimento se deslice o deforme.

Estas fallas ocurren generalmente en mezclas asfálticas de baja estabilidad o en capas superpuestas, cuando existe una adherencia pobre (liga pobre) entre la capa superficial y la capa subyacente de la estructura del pavimento.

g) Abultamientos y hundimientos

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos pueden ser causados por varios factores:

- 1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.*
- 2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).*
- 3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado "tenting").*

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman "ondulaciones"

h) Corrugación

La corrugación es una serie de ondulaciones constituidas por cimas y depresiones muy cercanas entre sí y espaciadas a intervalos bastante regulares (generalmente menores a 3.00 m) a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito.

Este tipo de falla es causada por la acción del tránsito vehicular combinada con la inestabilidad de las capas superficiales o de la base del pavimento.

i) Depresión

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta.

j) Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

k) Desplazamiento

El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión). Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.

l) Hinchamiento

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento, una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m.

El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

m) Huecos

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

n) Desprendimiento de agregados

La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

o) Exudación

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que

usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

p) Desnivel carril berma

El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

q) Parcheo

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

r) Pulimento de agregados

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

s) *Cruce de vía férrea*

Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles (ASTM D6433-18, 2018).

2.3. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTO FLEXIBLES

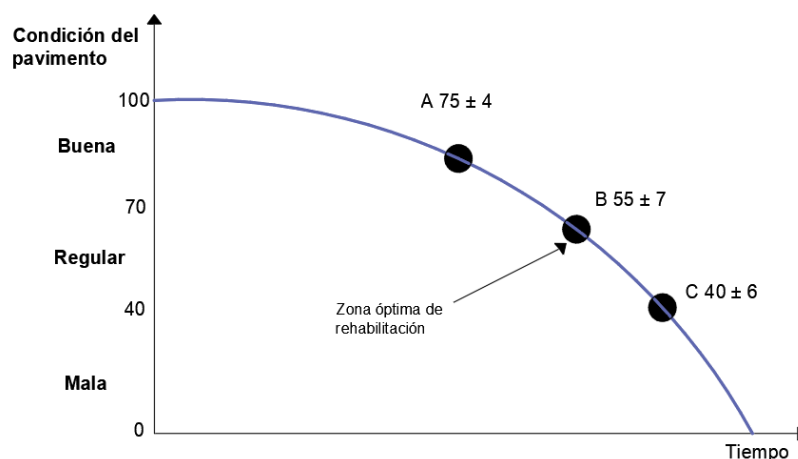
Se define mantenimiento o conservación de pavimentos a los trabajos constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción prematura de una vía.

“Existen diversos conceptos básicos que deben tenerse en cuenta al analizar el comportamiento de un pavimento. En este sentido es importante tener presente que su estructura sufrirá con el tiempo— daño y deterioro aun cuando sea adecuadamente diseñado y construido de acuerdo con todas las especificaciones y normas de calidad”. (Jugo, 2005, p.2)

Los pavimentos muestran distintas relaciones deterioro-tiempo de acuerdo con la combinación particular de los distintos factores involucrados en el mecanismo de deterioro.

En el Gráfico N°2.1, nos muestra una curva de deterioro en función del tiempo, relacionado con el valor de PCI:

Gráfico N°2.1. Curva de deterioro de un pavimento



Fuente: Manual de mantenimiento y rehabilitación, A. Jugo (2005)

Existe tres puntos en la siguiente grafica las cuales resumiremos en la Tabla N°2.2.

Tabla N°2.2. Resultados de grafica curva deterioro de un pavimento

Punto	PCI	Características
A	70±4	El pavimento empieza a necesitar mantenimiento menor
B	55±7	Se inicia incremento de radio de deterioro. Zona óptima de rehabilitación
C	40±6	Inicio de zona de falla, se requiere acciones de mantenimiento mayor

Fuente: Manual de mantenimiento y rehabilitación, A. Jugo (2005)

Generalmente las actividades de mantenimiento de pavimentos se agrupan en dos categorías, preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro.

Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas.

El mantenimiento menor incluye acciones que se aplican a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar su condición y/o controlar la tasa de deterioro. El mantenimiento rutinario debe ejecutarse continuamente, e iniciarse tan pronto como el pavimento muestre los primeros síntomas de falla. Dentro del mantenimiento rutinario se incluyen aquellas acciones menores tanto programadas como de emergencia.

Por su parte, el mantenimiento mayor incluye actividades que se aplican a toda el área de un tramo, éstas pueden estar precedidas por acciones preparatorias de mantenimiento menor (Jugo B., 2005).

Tabla N°2.3. Características según el tipo mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Características de las acciones	
	Alcance	Objetivo
Menor	Localizado (puntual)	Preventivo Correctivo
Mayor	Toda el área	Efectivo Correctivo

Fuente: Manual de mantenimiento y rehabilitación, A. Jugo (2005)

2.3.1. Mantenimiento menor

El mantenimiento menor preventivo consiste en aquellas acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas incipientes en su estado inicial de evolución.

El mantenimiento correctivo se refiere a acciones ejecutadas para corregir o reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios. Si la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectivas, difícilmente pueden mejorar la condición integral de la vía, y solo se logra mantenerla en una condición deficiente a un altísimo costo. Estos dos aspectos, tanto el nivel de calidad; como el costo del mantenimiento menor son indicadores de falla y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor.

Se puede contemplar acciones de mantenimiento menor:

- 1) Sellado de grietas.
- 2) Bacheo
- 3) Sello asfáltico localizado
- 4) Nivelación localizada
- 5) Fresado y texturización localizada (Jugo B., 2005).

2.3.2. Mantenimiento mayor

Las acciones de mantenimiento mayor son aplicadas a un tramo de vía, o al menos a una sección importante de la misma. Son actividades programadas y ejecutadas para el mejoramiento sustancial del pavimento.

Este tipo de mantenimiento se ha clasificado en: *efectivo* y *correctivo*, este último se aplica cuando el nivel de servicio de una vía está por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional, o presenta importante debilitamiento estructural. En estos casos, se requieren acciones de mantenimiento mayor para corregir integralmente el problema. Este tipo de acciones se aplican al pavimento clasificado como "malo".

Por su parte el mantenimiento mayor *efectivo*, se aplica antes que la condición del pavimento alcance un estado crítico, condición regular-baja, dentro de la zona "óptima" de rehabilitación.

Se puede contemplar acciones de mantenimiento mayor:

- 1) Tratamientos superficiales
- 2) Capas asfálticas
- 3) Remoción por fresado
- 4) Reciclado en frío y/o caliente (Jugo B., 2005).

2.4. TEORÍA MECANICISTA

Se desarrollaron varios métodos mecanicistas, de los cuales los más reconocidos son:

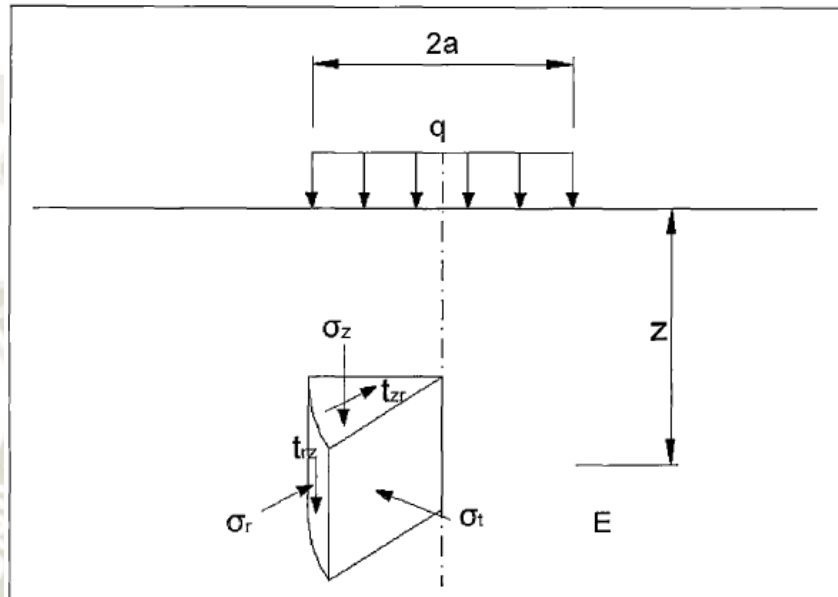
- Método de Boussinesq
- Método de Burmister (método multicapa)
- Método del espesor equivalente
- Método de los elementos finitos

2.4.1. Método Boussinesq

Desarrollado por el matemático y físico francés Boussinesq, plantea un estado de esfuerzos para un suelo homogéneo, semiinfinito, isotrópico y linealmente elástico, es decir donde los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones.

Este método presenta aproximaciones a los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos para cargas distribuidas en un sistema de coordenadas cilíndricas tal como se ve en la Imagen N°2.3.

Imagen N°2.3. Esfuerzos según Boussineq



Fuente: Marín 2015

Las ecuaciones más utilizadas por Boussinesq se presentan a continuación:

$$\sigma_z = q * \left[1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1 + \mu) * q}{E} * \left[1 - 2 * \mu + \frac{2 * \mu * z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1 + \mu) * q}{2 * E} * \left[1 - 2 * \mu - \frac{2 * (1 - \mu) * z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

Donde:

- σ_z : Esfuerzo en la dirección vertical
- ε_z : Deformación unitaria en la dirección vertical
- ε_r : Deformación unitaria en la dirección radial
- q: Presión aplicada al suelo
- a: Radio del esfuerzo aplicado al pavimento

z: Profundidad donde se realizará el análisis

E: Módulo de elasticidad del suelo

μ : Módulo de poisson del suelo

La ecuación de esfuerzo vertical es la más usada en el ámbito de la ingeniería, esta es independiente del módulo elástico del suelo y de su módulo de poisson.

2.4.2. Método Burmister (teoría multicapa)

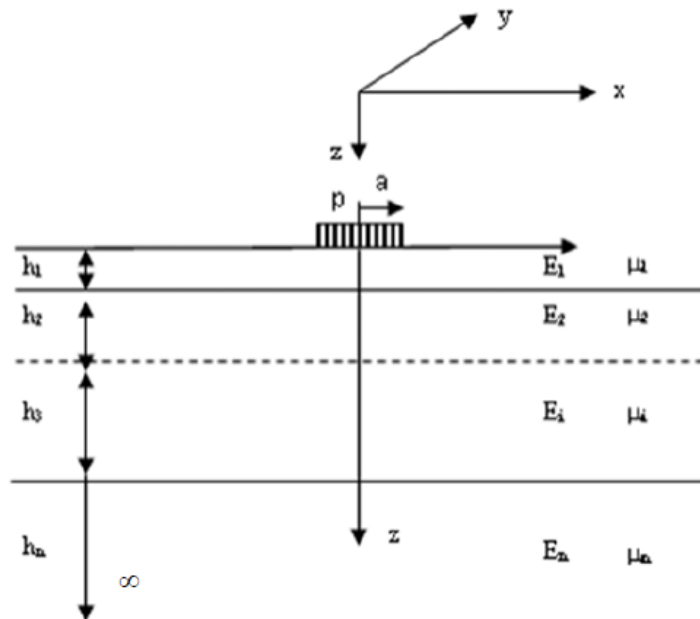
Desarrollada por Burmister a partir de la extrapolación del modelo monocapa de Boussinesq. Inicialmente Burmister dio soluciones para sistemas para sistemas de hasta tres capas del pavimento flexible, incluso para cargas múltiples como ejes tándem y tridem. El sistema multicapa consiste en múltiples capas de espesores finitos apoyadas sobre una subrasante de espesor infinito.

Las suposiciones iniciales son las siguientes:

- Cada capa es homogénea, isotrópica, linealmente elástica y con un módulo elástico (E) y de poisson.
- El material es ingravido e infinito en extensión de área.
- Cada capa por separado tiene un espesor finito (h) apoyado sobre una capa de espesor infinito.
- Existe la continuidad de esfuerzos y deformaciones en las interfaces dependiendo de las presunciones que se hagan sobre las mismas.

En la siguiente Imagen N°2.4 se representa el sistema multicapa.

Imagen N°2.4. Teoría multicapa de Burmister



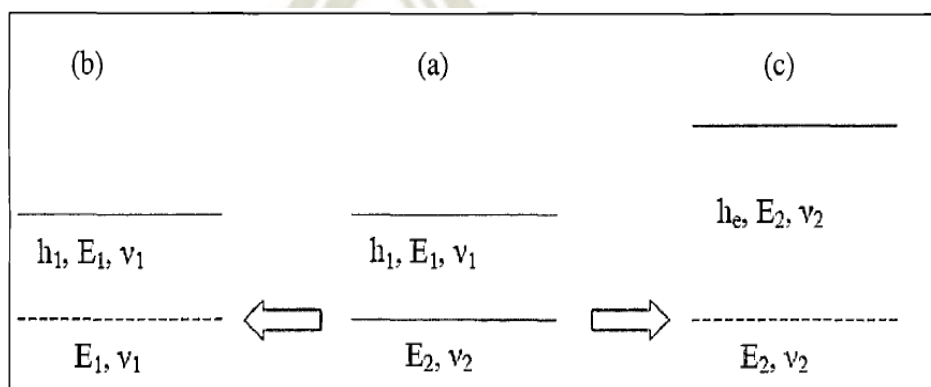
Fuente: Olarte 2015

La principal limitante que tuvo esta teoría, es que no se puede calcular los efectos en el borde de una fisura o una calzada.

2.4.3. Método de espesores equivalentes

Desarrollado por Odermark en el cual transforma a una capa un sistema de dos capas logrando que pueda aplicarse el método de Boussinesq. Este método puede ser entendido mediante la siguiente Imagen N°2.5.

Imagen N°2.5. Teoría de espesores equivalentes



Fuente: Guillen 2009

En la Imagen N°2.5 se tiene un sistema de dos capas (a), en la parte (b) ambas capas funcionan como una sola, con el mismo módulo elástico y de poisson que la primera; en cambio que el sistema (c) se toma un sistema de dos capas, en el que la capa inferior se toma como referencia y la capa superior asume sus propiedades, pero con un espesor que sea equivalente.

Esta consideración de equivalencia se asumió respecto al número estructural del pavimento.

$$\frac{I * E}{1 - \mu^2} = cte$$

Donde:

I: Inercia del material

E: Módulo elástico del material

μ : Módulo de poisson

A partir de esto fue que llegó a expresar la equivalencia de espesor de un suelo con diferentes propiedades respecto a otro:

$$h_{eq} = h_1 * \sqrt[3]{\frac{E_1(1 - \mu_2^2)}{E_2(1 - \mu_1^2)}}$$

Tras varios estudios y mediciones de campo, esta ecuación fue corregida por un factor f igual a 0.9, quedando la ecuación final como sigue:

$$h_{eq} = f * h_1 * \sqrt[3]{\frac{E_1(1 - \mu_2^2)}{E_2(1 - \mu_1^2)}}$$

Donde:

h_{eq} : espesor de capa equivalente

h_1 : Espesor de la capa a convertir

E_1 : Módulo elástico de la capa a convertir

E_2 : Módulo elástico del material de la segunda capa

μ_1 : Módulo de poisson de la capa a convertir

μ_2 : Módulo de poisson de la segunda capa

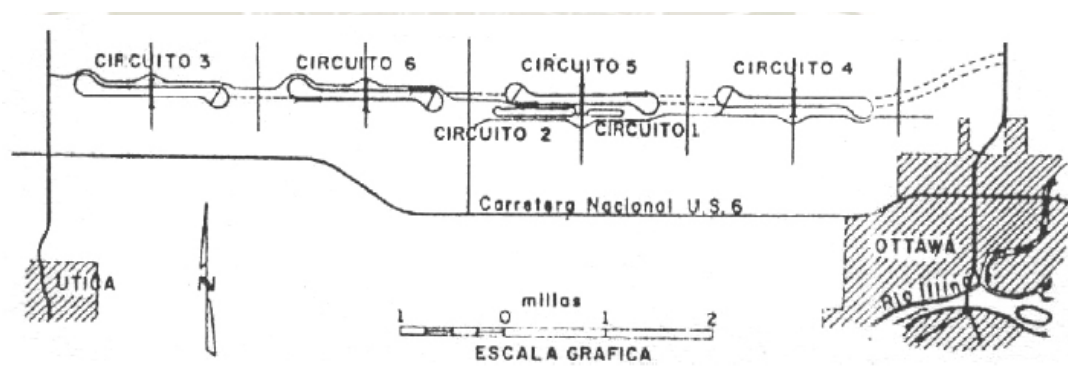
f: factor de corrección (usualmente 0.9)

2.5. DISEÑO EMPIRICO AASHTO 93

Para llegar a la metodología empírica AASHTO 93 pasaron décadas de investigación en tramos de estudio tales como carreteras experimentales en Maryland (USA) en el año 1949 como una autopista interurbana de pavimento rígido reforzado; la carretera experimental WASHO en Idaho (USA) en el año 1952 dirigida a comprobar el efectos de los ejes y la intensidad de las cargas sobre los pavimentos flexibles; la carretera experimental LARR en Alemania dirigida a la comparación de cargas aplicadas sobre ejes simples y dobles; y la más completa de todas, el experimento vial AASHO en Illinois (USA) en 1958, este proyecto contaba con 6 circuitos experimentales, cada uno con fines específicos como mediciones de efectos climáticos y cargas estáticas, cargas livianas y cargas diversas pesadas; cada uno de estos circuitos dividido en 2 tramos, uno de pavimento flexible y otro de pavimento rígido.

En la siguiente Imagen N°2.6 se muestra el esquema de los circuitos construidos.

Imagen N°2.6. Ubicación del experimento vial de la ASSHO sobre la autopista interurbana I-80



Fuente: Gustavo Corredor M.

Para el año 1962, se publicó la primera “Guía Provisional para el Diseño de Estructuras de Pavimento” la cual fue perfeccionada en el año 1972 y se mantuvo hasta el año 1983, cuando se determinó incorporar algunos de los adelantos logrados en el análisis y diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado; es así que a finales del año 1986 se concluye el trabajo con la publicación de la versión AASHTO 1986, posteriormente en 1993 se actualiza el procedimiento del diseño de

rehabilitaciones, con lo que se publica la actual versión conocida como AASHTO 93.

La guía AASHTO 93 establece que la estructura del pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural (SN) el cual es calculado en función a: a) el tránsito al cual será sometido durante el periodo de diseño, b) la resistencia del suelo de fundación, c) los niveles de servicialidad que son supuestos para la vía y d) parámetros estadísticos que funcionan como factores de seguridad para un determinado grado de confiabilidad.

El cálculo del número estructural total viene determinado por la siguiente ecuación, luego de la cual mediante tanteos para el espesor de cada una de las capas consideradas expresa números estructurales parciales que sumados deben satisfacer el valor total requerido. A la misma vez, los espesores deben cumplir con valor mínimos por razones constructivas, por razones de tránsito y por razones de tipo estructural.

$$\log W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\rho_i - \rho_f}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Ec. 2.1

Donde:

N_{18} : Número total de ejes equivalentes para el final del periodo de diseño.

ρ_i : Servicialidad inicial

ρ_f : Servicialidad final

M_R : Modulo de resiliencia de la subrasante

Z_r : Desviación estándar normal

S_0 : Desviación estándar total

Y el número estructural total es subdividido respecto a cada una de las capas de acuerdo a:

$$SN_T = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Ec. 2.2

Donde:

SN_T : Número estructural total

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de los materiales

m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje para materiales granulares

D_1 , D_2 , D_3 : Espesores asumidos de las capas

Una ecuación sencilla, donde los únicos valores que se tantean son los espesores de las capas, siempre y cuando se considere que cada capa considere el módulo resiliente de la capa subyacente. Esto garantiza que haya una coherencia estructural entre cada capa y la calidad del material de la capa inferior.

2.6. DISEÑO MECANISTICO EMPIRICO GUIA AASHTO MEPDG 2015

Es una metodología de diseño que como su nombre indica combina los aspectos tanto empíricos como mecanistas, relacionando conceptos mecanistas para determinar respuesta del pavimento frente a cargas usando modelos matemáticos y aspectos empíricos relacionados al comportamiento del pavimento mediante pruebas experimentales de su funcionamiento.

Este procedimiento de diseño estructural de capas de pavimento se basa en el análisis mecanístico para escoger una combinación de espesores y materiales con el fin de suministrar el nivel de servicio deseado de acuerdo con el tránsito esperado. Los elementos del procedimiento de diseño mecanístico abarcan además los efectos climáticos, el modelo estructural y la respuesta del pavimento, la caracterización de los materiales, las funciones de transferencia y el análisis del comportamiento para concluir con el proceso de selección del sistema de pavimento a construir.” (Fabricio, 2008, p3).

2.6.1. Importancia y uso del diseño mecanístico- empírico

El MEPGD representa un cambio sustancial en la manera como se realiza el diseño pavimentos. El término mecanístico se refiere a la aplicación de los principios de la ingeniera mecanista, lo que conduce un proceso racional de diseño que tienes tres elementos básicos:

1. La teoría utilizada para predecir las respuestas criticas del pavimento (deformaciones, esfuerzos, deflexiones), como una función del tráfico y la carga climática (la parte mecanística)
2. Los procedimientos de caracterización de los materiales que brindan soporte y son consistentes con la teoría seleccionada

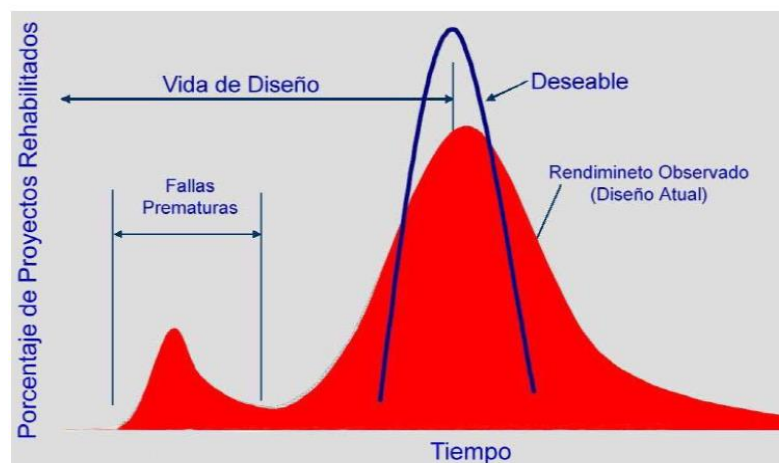
3. Las relaciones definidas entre los parámetros críticos de las respuestas del pavimento y los deterioros observados en el campo (la parte empírica), (Guía de diseño mecánico empírico de pavimentos, 2015).

2.6.2. Ventajas del diseño mecánico-empírico

- El diseño ya no es solo para el espesor de la estructura.
- Aproximación compresiva incluyendo consideraciones estructurales y de los materiales.
- Manejo mejorado de efectos climáticos y diseños de seguridad.
- Nuevos conceptos:
 1. Funcionamiento basado en deterioros y calidad de carretera
 2. Mejor caracterización de pavimentos existentes
 3. Consideraciones directas de drenaje y erosión de la subbase
- Adaptabilidad:
 1. Mejor habilidad para manejar las características cambiantes del tránsito.
 2. Capacidad para incorporar materiales pavimentos disponibles.
 3. Capacidad de extrapolar de los estudios de campo y laboratorios.

El beneficio más grande de esta metodología es tratar de prevenir la ocurrencia de fallas prematuras en el pavimento, a través de indicadores de desempeño que pueden definir el funcionamiento del pavimento (Guía de diseño mecánico empírico de pavimentos, 2015).

Imagen N°2.7. Grafica de predicción de desempeño



Fuente: Part 1-introduction to 2002 design Guide, background.

2.6.3. Estructura y componentes del diseño mecánico-empírico

Imagen N°2.8. Componentes del Diseño mecánico empírico



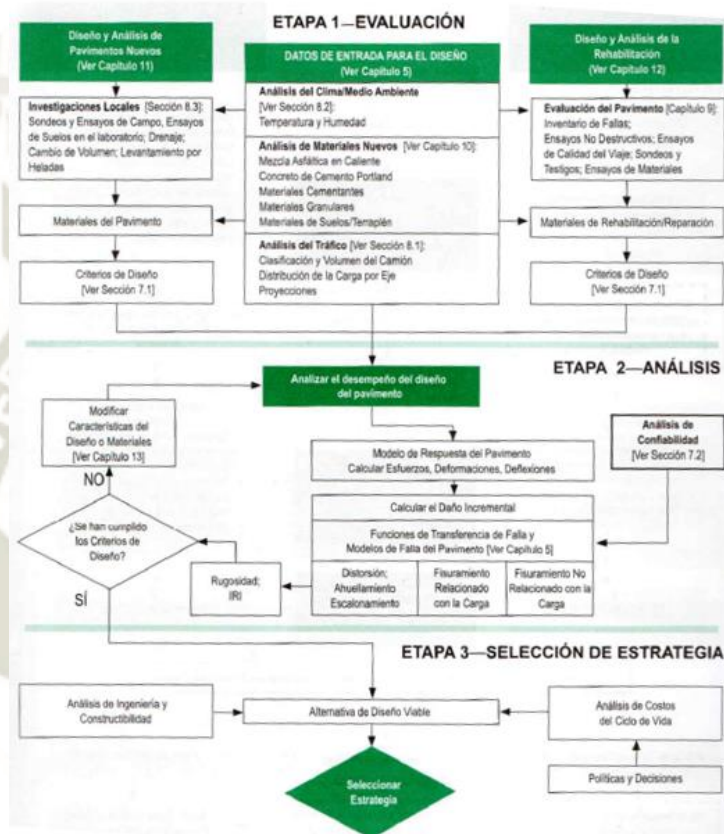
Fuente: Guía de diseño mecánico-empírico AASHTO 2008

La Imagen N°2.8 nos muestra los datos de entrada para realizar el proceso del diseño, que consisten en la estructura del pavimento, el clima existente lo cual básicamente son datos de temperatura y precipitación, el tránsito y las propiedades mecánicas de los materiales a usar en las capas del paquete estructural del pavimento.

De acuerdo a las condiciones de los datos para cada diseño se obtiene modelos de respuesta para calcular esfuerzos críticos (esfuerzos y deformaciones), estas respuestas se acumulan en modelos de daño respecto al tiempo, lo cual puede predecir fallas respectivas como agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, etc. usando campos calibrados de modelos de grietas (parte empírica).

En el Gráfico N°2.2, observamos un diagrama de flujo que representa la base de la mayoría de diseños mecanístico-empíricos, se puede observar tres etapas, donde se realiza una iteración en el proceso de diseño. Este proceso es diferente a otros procesos de diseño basados en el cálculo de espesores de AASHTO, puesto que acentúa los criterios de desempeño.

Gráfico N°2.2. Diagrama de flujo conceptual de la tres etapas del diseño



Fuente: Guía de diseño mecanístico-empírico AASHTO 2015

2.6.4. Metodología de predicción de indicadores de desempeño

El diseño y análisis del diseño de prueba está basado en la acumulación de daño por efecto del clima y las cargas del tráfico a través del tiempo. Los deterioros o daños son calculados y agrupado en intervalos de análisis. Un intervalo de análisis de un mes constituye la unidad básica para calcular el daño incremental.

La fuente principal de datos fue la base de datos LTPP, complementada con datos obtenidos de la pista de prueba experimental de Minnesota y otros proyectos de investigación de agencias estatales y federales. La información incluida representa una gran variedad de datos de entrada, como tipos de suelo de

cimentación, tránsito, clima, tipos de pavimentos, elementos de diseño dentro de un tipo de pavimento y registro históricos del desempeño del pavimento (Guía de diseño mecanístico empírico de pavimentos, 2015).

Tabla N°2.4. Indicadores de desempeño AASHTOWare Pavement design

Deterioro	Descripción
Profundidad del ahuellamiento	La deformación de la superficie en forma de ahuellamiento es causada por la deformación vertical plástica o permanente, el modelo para calcular la deformación permanente total utiliza la deformación plástica vertical bajo condiciones específicas del pavimento para el número total de camiones que corresponda a esa condición. La acumulación de deformación plástica se mide en el laboratorio con ensayos triaxiales de deformación permanente por carga repetida, tanto para mezclas asfálticas como para materiales granulares.
Fisuramiento relacionado con la carga	Existe dos tipos de fisuras relacionadas con las cargas: fisuramiento tipo piel de cocodrilo (fatiga) y las fisuras longitudinales. Asume que el fisuramiento tipo piel de cocodrilo o fisuras de área se inician en la parte inferior de las capas asfálticas y se propagan a la superficie con el tráfico continuo de camiones, mientras que asume las fisuras longitudinales se inician en la superficie
Fisuramiento no relacionado con la carga- Transversal	Los resultados experimentales indican que pueden obtenerse estimaciones de la fluencia lenta por tracción directa y de la resistencia HMA. El AASHTOWare pavement pronostica el grado de fisuración utilizando una relación de la profundidad de la fisura el espesor de la capa de HMA y el porcentaje del fisuramiento.
Fisuras reflejadas en Recapados de HMA	El AASHTOWare pavement ME design predice fisuras reflejas en los recapados de HMA o en las superficies de HMA de pavimentos semirrígidos por medio del uso de una ecuación empírica. La ecuación empírica se utiliza para calcular la cantidad de fisura por fatiga y de fisuras térmicas desde una capa no superficial que ha sido reflejado a la superficie después de cierto periodo de tiempo.
Regularidad Superficial	La premisa del diseño para predecir la degradación de la regularidad superficial, según el AASHTOWare pavement design la aparición de deterioros en la superficie resultara en el aumento de la rugosidad (IRI). Los valores obtenidos están relacionados a partir de datos recogidos del programa LTPP y se incluye para predecir el IRI para pavimentos.

Fuente: Guía AASHTO 2015

2.6.5. Información General del Proyecto

Vida útil de diseño

La vida útil de diseño de un pavimento nuevo o reconstruido, comprende desde el momento de la construcción inicial hasta que el pavimento se encuentra deteriorado estructuralmente.

La vida útil de diseño es análoga con el periodo de análisis, la guía AASHTO 93 nos presenta las siguientes recomendaciones:

Tabla N°2.5. Periodo de Análisis

Tipo de vía	Periodo de análisis recomendado
Urbana- alto volumen de transito	30-50
Rural - alto volumen de transito	20-50
Bajo volumen pavimentado	15-25
Bajo volumen con superficie de agregados	10-20

Fuente: Guía AASHTO 93

Fechas de construcción y apertura al transito

Las fechas de construcción del pavimento establece el punto de partida de análisis en los modelos de predicción de cada tipo de deterioro previsto. Estas fechas están adaptadas a las cargas de tránsito y a los datos climáticos mensuales, que afectan los valores de los módulos de todas las capas y de la subrasante mes a mes.

2.6.6. Criterios de Diseño y nivel de confiabilidad

Los criterios de diseño y los niveles de confiabilidad pueden seleccionarse buscando balance entre ambos, un bajo nivel de deterioro no se debe seleccionar conjuntamente con un nivel de confiabilidad alto, puesto que este puede volver imposible o muy costoso el obtener un diseño adecuado.

Los criterios de desempeño son utilizados para asegurar que un diseño de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil de diseño.

Tabla N°2.6. Criterios de desempeño o umbrales recomendados

Tipo de pavimento	Criterios de desempeño	Valor umbral al final de vida útil del diseño
Pavimentos y recapados de HMA	Fisuramiento tipo piel de cocodrilo	Interestatal: 10% área del carril Primaria: 20% área del carril Secundaria: 35% área del carril
	Profundidad del ahuellamiento	Interestatal: 0.40 pulgadas Primaria: 0.50 pulgadas otros : 0.65 pulgadas
	Longitud del fisuramiento transversal	Interestatal: 500 pies/milla Primaria: 700 pies/milla Secundaria: 700 pies/milla
	IRI (regularidad superficial)	Interestatal: 160 pulgadas/milla Primaria: 200 pulgadas/milla Secundaria: 200 pulgadas/milla
JPCP, CPR nuevos y recapados	Escalonamiento promedio de la junta	Interestatal: 0.15 pulgadas Primaria: 0.20 pulgadas Secundaria: 0.25 pulgadas
	Porcentaje de fisuramiento transversal de la losa	Interestatal: 10% Primaria: 15% Secundaria: 20%
	IRI (regularidad superficial)	Interestatal: 160 pulgadas/milla Primaria: 200 pulgadas/milla Secundaria: 200 pulgadas/milla

Fuente: Guía AASHTO 2015

El nivel de confiabilidad de diseño podría basarse en el objetivo general de alcanzar la condición terminal antes de completar la vida útil de diseño. Los niveles de confiabilidad del diseño pueden variar según el tipo de deterioro e IRI, la confiabilidad puede seleccionarse según el tipo de deterioro y el error estándar del modelo de predicción de deterioro.

Tabla N°2.7. Niveles de confiabilidad recomendados

Clasificación funcional	nivel de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal/Autopista	95	95
Arterias principales	90	85
Colectores	80	75
Local	75	70

Fuente: Guía AASHTO 2015

2.6.7. Datos de entrada

Como se observó en el Gráfico N°2.2. Diagrama de flujo conceptual de la tres etapas del diseño, se debe obtener parámetros para realizar el software AASHTOWare diseño mecánico empírico, en la Tabla N°2.8 se puede observar los datos necesarios.

Tabla N°2.8. Parámetros de entrada AASHTOWare Design 2015

Datos de entrada		Parámetro de entrada	Nivel usada para la recalibración
Tráfico de Camiones		Distribución de carga por eje	Nivel 1
		Distribución del volumen del camión	Nivel 1
		Distribuciones del carril y direccional del camión	Nivel 1
		Presión de los neumáticos	Nivel 3
		Configuración del eje, espaciamento	Nivel 3
		Zigzaguo del camión	Nivel 3
Clima		Temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, humedad relativa	Nivel 1
Propiedades de los materiales	Capas granulares y subrasante	Módulo resiliente	Nivel 1
		Clasificación y propiedades volumétricas	Nivel 1
		Relaciones de humedad-densidad	Nivel 1
		Relaciones respecto al suelo-agua	Nivel 3
		Conductividad hidráulica saturada	Nivel 3
	HMA	Modulo dinámico HMA	Nivel 3
		Comportamiento de fluencia lenta y resistencia a la tracción indirecta	Nivel 1, 2 y3
		Propiedades volumétricas	Nivel 1
		Coefficiente de expansión térmica del HMA	Nivel 3
Todos los materiales		Peso específico	Nivel 1
		Coefficiente de Poisson	Nivel 1 y 3
		propiedades térmicas: conductividad, capacidad calorífica	Nivel 3
Pavimento existente		Estado de las capas existentes	Nivel 1 y 2

Fuente: Guía AASHTO 2015

2.7. SOFTWARES SIMPLIFICADOS

2.7.1. CR-ME

El desarrollo de CR-ME surge a partir del deseo de obtener la primera guía de diseño mecánico-empírica de pavimentos para Costa Rica, labor en ejecución por parte del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del Laboratorio

Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

CR-ME es un programa informático de análisis de pavimentos flexibles, que permite calcular el desempeño del pavimento a las cargas aplicadas por los vehículos, basados en la teoría de multicapa elástica y en modelos de predicción del desempeño de pavimentos desarrollados gracias a investigación del LanammeUCR.

El software utiliza la teoría de multicapa elástica, basado en la teoría de Burmister (1943) y ampliada por Huang (1967). Además, obtiene la respuesta del pavimento en puntos de interés para el diseño y luego utiliza estos valores obtenidos dentro de los modelos predictivos para calcular el daño que se producirá a lo largo de la vida útil esperada del proyecto, tanto por fatiga como por deformación permanente.

La versión utilizada es de prueba, es decir está en fase de verificación de los resultados obtenidos por el programa. Además, es una herramienta informática de acceso libre, por lo que puede ser obtenida en sus sitios web oficiales (Trejos C. 2016).

2.7.2. FPS 21

El Flexible Pavement System (FPS) es un software de diseño mecanístico-empírico (ME) desarrollado por el Departamento de Transporte de Texas (TxDOT) para: diseño estructural (espesor) del pavimento, diseño de superposición estructural, análisis de respuesta de esfuerzo-deformación y predicción de la vida del pavimento (formación de surcos y agrietamiento).

FPS 21 es la versión más reciente de este sistema de diseño desarrollado por el Instituto de Transporte de Texas.

El FPS 21 es la última actualización del programa FPS 19 desarrollado en los años 90. El programa tiene varias adiciones al sistema FPS 19, pero conserva gran parte de la familiaridad del sistema anterior. Ambos programas incorporan el mismo algoritmo de predicción de rendimiento y tienen entradas sustancialmente idénticas.

Algunas características especiales del software son:

- Brinda la capacidad de diseñar estructuras de pavimento con hasta seis capas sobre la subrasante.
- Proporciona procedimientos adicionales para obtener los valores estimados de la Clase Triaxial de Texas para los suelos de subrasante, ya sea en función de los tipos de suelo específicos del condado o de las propiedades básicas del suelo, como el índice de plasticidad.
- Proporciona capacidades de análisis de esfuerzos extendidas, donde, por ejemplo, se pueden calcular las deflexiones permitidas para la estructura de pavimento propuesta. Estos valores podrían usarse para la verificación de la resistencia estructural después de la construcción.

El enfoque de diseño de FPS se basa en un sistema de análisis lineal-elástico, y las entradas principales de material son los módulos de las capas de pavimento obtenidas del retrocálculo. Para los materiales en el lugar, estos se obtienen de las pruebas con el Falling Weight Deflectometer (FWD) y el procesamiento de los datos con un software de retrocálculo como MODULUS 6.0 (Liu, W., & Scullion, T. 2011).

2.8. EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTO

2.8.1. Índice de condición del pavimento (PCI)

“El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad” (Vásquez, 2002).

Esta metodología consiste en la determinar la condición del pavimento a través de inspección visuales identificando el daño, la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas en la superficie del pavimento.

Para la realización de este procedimiento se utilizará a norma ASTM D-6433-18, la cual a su vez nos proporciona los distintos deterioros o daños que se puede producir en la vida útil de pavimentos existente, puede ser de superficie asfáltica como de concreto. Para realizar la inspección visual utilizaremos la hoja de campo

proporcionada por la norma, así como se observa en la Imagen N°2.9 nos ayudara a realizar el relevamiento directo según el tipo de daño.

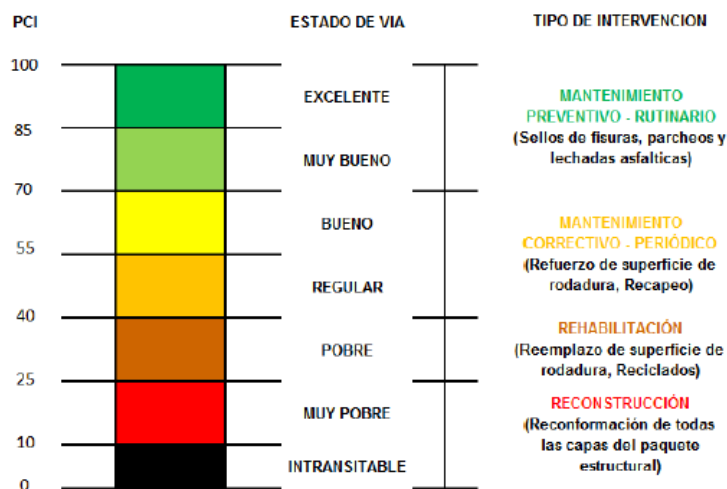
Imagen N°2.9. Hoja de campo para calificación PCI

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)								
Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento								
METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18								
Seccion	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	Esquema					
Carril	Progresiva final	Area de muestreo						
Inspeccionado por		Fecha						
1. Piel de cocodrilo	6. Depresion	11. Parcheo	16. Desplazamiento					
2. Exudacion	7. Grieta de borde	12. Pulimento de Agregados	17. Grieta parabólica (slippage)					
3. Agrietamiento en Bloque	8. Grieta de reflexion de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento					
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de via ferrea	19. Desprendimiento de agregados					
5. Corrugacion	10. Grietas long y transversal	15. Ahuellamiento						
Falla	Severidad	Cantidades				Total	Densidad (%)	Valor deducido

Fuente: ASTM D6433-18

El valor de PCI es un índice numérico que puede variar desde 0 hasta el 100 según el estado en que se encuentre el pavimento, en la Imagen N°2.10 podemos observar el rango de clasificación y el tipo de intervención que se da depende del estado de la vía.

Imagen N°2.10. Escala de PCI y tipo de intervención



Fuente: Meza (2017)

Unidades de muestreo: Para realizar la inspección se debe dividir en secciones o unidades de muestreo, estas dimensiones varían según el tipo de vía.

El manual del PCI indica que la unidad de muestreo debe estar en el rango de $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la Tabla N°2.9 nos presenta la longitud de muestreo asfálticas según el ancho de calzada.

Tabla N°2.9. Longitudes de unidad de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de unidad de muestreo asfáltica
5.0	46.00
5.5	41.80
6.0	38.30
6.5	35.40
7.3 (Máximo)	31.50

Fuente: Manual del PCI

2.8.2. Ensayo de rugosidad (rugosímetro de merlín)

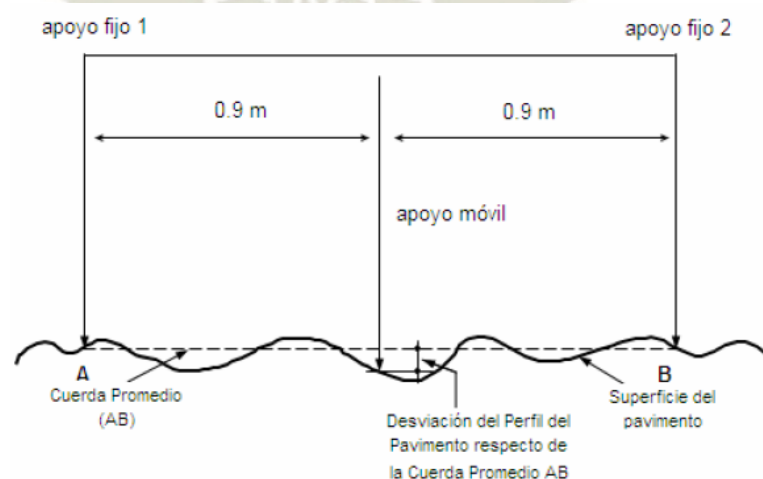
El índice de regularidad (llamado comúnmente rugosidad) es un indicador estadístico que representa la diferencia de desniveles entre el perfil longitudinal o transversal teórico y el perfil longitudinal o transversal existente.

Se define la rugosidad como la “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad del manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal” (ASTM E867-06, 2012).

Para las mediciones de rugosidad el equipo MERLIN obtiene desviaciones entre el punto medio de una línea imaginaria y la superficie del pavimento.

Para la determinación del IRI con el rugosímetro de MERLIN se necesita medir 200 desviaciones espaciadas cada 2m en forma consecutiva a lo largo de la vía con una longitud de cuerda promedio de 1.80m; con dicha muestra se realiza un histograma de distribución de frecuencias en el cual se puede medir la dispersión de las desviaciones verticales y correlacionarla con la escala estándar de rugosidad se continúa con la eliminación del 10% de mediciones (5% para cada extremo de la gráfica) y se procede a determinar el rango de la muestra (D) que equivale al índice de rugosidad en unidades MERLIN.

Imagen N°2.11. Medición de la desviación de la superficie respecto de la cuerda promedio



Fuente: Manual del usuario MERLINER

Para el ajuste del rango D, se utiliza un disco circular de bronce (pastilla) de 5cm de diámetro y aproximadamente 6mm el cual se calibra al inicio del ensayo colocándolo debajo del patín móvil de tal manera de que simule una elevación y la lectura del puntero indique el espesor de la pastilla. La ecuación para el reajuste D es la siguiente:

$$FC = \frac{EP * 10}{(LI - LF) * 5} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

EP: Espesor de la pastilla en mm

LI: Lectura inicial del puntero

LF: Lectura final del puntero

Para la correlación entre el índice MERLIN y el IRI, se utilizan las siguientes expresiones:

$$IRI = 0.0485 * D \text{ para } D \leq 50\text{mm} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$IRI = 0.0471 * D + 0.593 \text{ para } D > 50\text{mm} \quad \text{Ec. 2.5}$$

La primera ecuación de correlación fue establecida por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos (TRRL) para evaluaciones de superficies asfálticas, granulares o tierra mientras pertenezca al intervalo señalado. La segunda ecuación de correlación es el resultado de la calibración a pavimentos nuevos o poco deformados debido a que la primera ecuación no era recomendada (Camineros, 2018).

2.8.3. Ensayo de Deflectometría (HWD)

El deflectómetro de impacto (HWD por sus siglas en inglés Heavy Weight Deflectometer) es un equipo que aplica una carga de impacto a la superficie del pavimento. La aplicación de esta carga corresponde a un ensayo no destructivo que determina las deflexiones verticales (cuenco de deflexiones) del suelo que simula el paso de los vehículos. A través del análisis del cuenco de deflexiones se puede determinar la rigidez de la estructura del pavimento y del suelo de fundación.

Puede ser utilizado en los pavimentos flexibles, rígidos, composición de ambos o sobre cualquier capa de pavimento en construcción.

En el siguiente cuadro se pueden ver las ventajas y desventajas del uso del equipo FWD.

Un equipo más sofisticado que el FWD es el deflectómetro de peso pesado (HWD por sus siglas en inglés Heavy Weight Deflectometer) el cual puede operar con un rango de carga de 30-220 kN, lo que permite simular cargas extremas de vehículo como ruedas de avión.

En la Tabla N°2.10 se muestran las ventajas y desventaja del uso de estos equipos.

Tabla N°2.10. Ventajas y desventajas de los deflectómetros de impacto

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es un ensayo no destructivo • El efecto de la aplicación de la carga se asemeja al efecto del vehículo en movimiento • Puede ser operado por una sola persona • Puede evaluar desde una carretera hasta la pista de aterrizaje de un aeropuerto • Toma gran cantidad de datos en forma rápida y precisa (200 a 300 puntos/día/carril/100m) • Menor interrupción al tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo inicial • Alto costo de reparación • Requiere de capacitaciones en la operación • Requiere de un software para el retrocálculo • Las piezas solo son vendidas por el fabricante

Fuente: Recuperado de <https://www.dynatest.com/>

2.8.3.1. Componentes del deflectómetro de peso pesado (HWD)

2.8.3.1.1. Componentes del deflectómetro de peso pesado (HWD)

El equipo consta de un vehículo de arrastre desde donde se organiza la ejecución y recogida de información mediante una PC portátil; y el remolque, donde se encuentra el sistema de aplicación de carga y medida

de deflexiones cubierto por una carcasa metálica que lo protege del agua, aceite, polvo, etc.

Cada una de las partes más importantes se detalla a continuación:

a) Sistema de instrumentación CP 15

El CP 15 es el sistema manual con el que se puede controlar el deflectómetro de impacto. Durante su operación debe soportar temperaturas de entre -10 y 50 °C; soportar la lluvia, la humedad y la niebla; además de otras condiciones adversas como polvo, golpes o vibraciones.

Imagen N°2.12. Sistema CP 15 (HWD)



Fuente: Fotografía propia

b) Dispositivo generador de impacto

El dispositivo generador de impacto genera la caída de masa mediante un sistema de guía. La onda generada por el impacto de la masa y transmitida al pavimento debe producirse de acuerdo a los requerimientos. Es importante que la fricción del sistema guía sea despreciable además de que el impacto con el pavimento sea perpendicular.

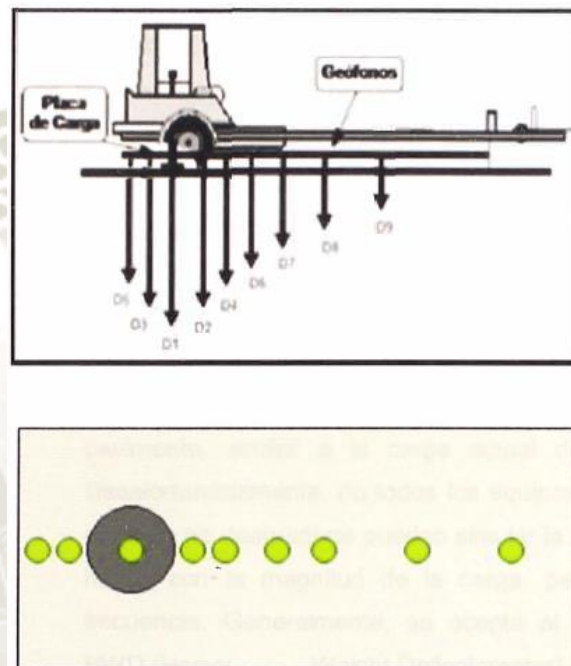
c) Placa de carga

La placa de carga es la responsable de transmitir uniformemente la carga de impacto. Los diámetros más comunes son 300 y 500mm de diámetro para las mediciones de autopistas y aeropistas respectivamente.

d) Geófonos

Son los dispositivos encargados de medir la deflexión vertical máxima, generalmente están espaciados cada 300 mm los que están más alejados de la placa de carga. El número de geófonos depende de los propósitos de la prueba y características de cada capa del pavimento. La Imagen N° 2.13 muestra la configuración mencionada

Imagen N° 2.13 Configuración de los geófonos y placa de



Fuente: Marín 2015

e) Buffer

Debe ser capaz de transmitir la carga de tal forma que simule el paso de un vehículo. La duración del impulso debe ser entre 20 y 60 ms.

f) Computadora portátil

El computador cuenta con el “procesador Dynatest 8000” con el cual se puede controlar la operación del equipo y acondicionar las señales emitidas por los geófonos.

g) Termómetros

El equipo está implementado con 1 termómetro para medir la temperatura ambiente y 1 para medir la temperatura de la superficie. Adicionalmente en campo se debe medir la temperatura de la carpeta asfáltica.

h) Motor y batería

La batería da la energía al sistema hidráulica para el levantamiento de la masa y el motor sirve para cargar la batería.

2.8.3.2. Factores que influyen en la determinación de deflexiones

Según Guillen 2009, hay muchos factores que influyen en el ensayo, los cuales los mencionamos a continuación:

- Espesor de las capas del pavimento.
- Tipo de material de las capas constituyentes.
- El módulo resiliente de la capa subrasante.
- Carga de aplicación.
- Calidad de las capas constituyentes del pavimento.
- Temperatura del medio ambiente y del pavimento.
- Condición del pavimento.
- Variación de sección del pavimento.

Los principales factores mencionados que afectan en mayor medida las deflexiones se describen a continuación:

2.8.3.2.1. Carga

La magnitud y duración de la carga influye considerablemente en las deflexiones del pavimento. Las propiedades lineales y la sensibilidad a nivel de esfuerzos de la mayoría de las capas de la estructura hacen que las deflexiones medidas sean proporcionales a la carga aplicada.

2.8.3.2.2. Temperatura

En los pavimentos asfálticos, las temperaturas altas producen reblandecimiento de la carpeta asfáltica e incrementan las deflexiones. En los de concreto hidráulico, la temperatura en forma de cambios globales del gradiente térmico representa una influencia muy importante en las deflexiones medidas cerca de las juntas o grietas.

Así mismo las estaciones del año influyen, por ejemplo, en invierno ocurre congelamiento que provoca que el pavimento sea más rígido. En primavera ocurre el deshielo y en consecuencia existe agua libre en la estructura que aumenta considerablemente las deflexiones medidas.

2.8.3.2.3. Condición del pavimento

Para pavimentos asfálticos las deflexiones medidas en áreas de agrietamientos serán mayores que en áreas libres de deterioro.

En pavimento rígido, los vacíos bajo la losa provocan incremento de deflexiones, también los dispositivos de transferencia de carga afectarán la deflexión a ambos lados de la junta.

2.8.3.3. Cálculo de módulos dinámicos a partir de los valores de deflexión

Los módulos dinámicos de las capas de un pavimento asfáltico se pueden estimar a partir de las deflexiones mediante 3 métodos: ecuaciones de regresión, cálculo directo y retrocálculo, no necesariamente los 3 métodos convergen a los mismos valores, por lo cual el criterio ingenieril será determinar para determinar el método a escoger.

Varios investigadores han utilizado diversos parámetros del cuenco de deflexiones para poder describir sus características, y han surgido así diversas correlaciones y metodologías para tener un mejor uso del cuenco de deflexiones en el análisis estructural.

2.8.3.3.1. Indicadores derivados del cuenco de deflexiones

a) Deflexión máxima

Es la deflexión registrada por el centro del plato de carga. Esta medida refleja cómo se comporta la estructura del pavimento ante una carga y no necesariamente la resistencia de una capa individual. Según Beltrán (2012) los estudios de Chen y Scullion (2008) valores mayores de 0.750 mm representan pavimentos débiles con deterioros, base expuesta o humedad o estructuras delgadas; en cambio Gómez et al. (2007) valores superiores a 0.700 μm representan una deficiencia estructural debido a subrasantes débiles.

b) Valor Área

El área de cuenco de deflexiones fue estimada por Hill y Thompson en 1989, y adoptada para fines de análisis y diseño por la guía AASHTO. Se encuentra definida por:

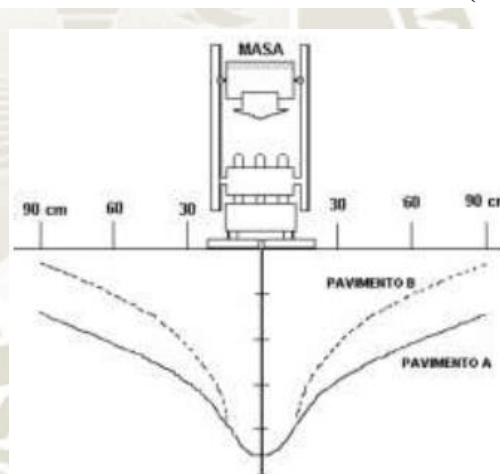
$$Area = \frac{6[D_0 + 2D_{300} + 2D_{600} + D_{900}]}{D_0} \quad \text{Ec. 2. 6}$$

Donde:

D_i : Deflexión medida para cada geófono indicado.

Nos permite diferenciar el comportamiento de dos estructuras de pavimento que puedan llegar a tener entre sí el mismo valor de deflexión máxima. Tal como se ve en la Imagen N° 2.14, ambos poseen la misma deflexión máxima pero el área A del cuenco de deflexiones es mayor lo que significa que ocurre un mejor comportamiento estructural.

Imagen N° 2.14. Representación de dos cuencos de deflexión con una misma deflexión máxima (d_0)



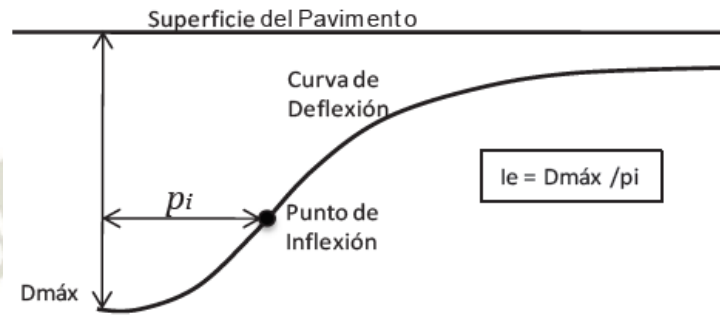
Fuente: Shahin 1994

El valor máximo de “AREA” es 36 y se presenta cuando las 4 deflexiones son iguales, esta situación corresponde a un pavimento extremadamente rígido. El valor mínimo posible es 11.1 que corresponde a un pavimento con la misma rigidez que la subrasante.

c) Índice estructural (Ie)

Orozco (2005) plantea este índice como la razón de la deflexión máxima entre la distancia horizontal del eje central hasta el punto de inflexión de la gráfica del cuenco de deflexión; tal como se muestra en la Imagen N°2.15

Imagen N°2.15. Representación del índice estructural



Fuente: Beltrán 2012

A menor valor del Ie, mejor es la condición de la estructura, esto se da para valores bajos de deflexión máxima (cuenco poco profundo) y punto de inflexión alejados (cuenco tendido).

En la siguiente tabla se muestran los valores de condición estructural para evaluaciones de condición del pavimento.

Tabla N°2.11. Condición en función del índice

Ie	Calificación	Condición	Solución
0.0 a 0.05	10	Excelente	Tratamiento superficial
0.05 a 0.1	9	Muy buena	Tratamiento superficial
0.1 a 0.2	8	Buena	Reforzamiento
0.2 a 0.3	7	Regular	Reforzamiento
0.3 a 0.4	6	Mala	Recuperación <i>in situ</i>
> 0.4	5	Pésima	Recuperación <i>in situ</i>

Fuente: Orozco (2005)

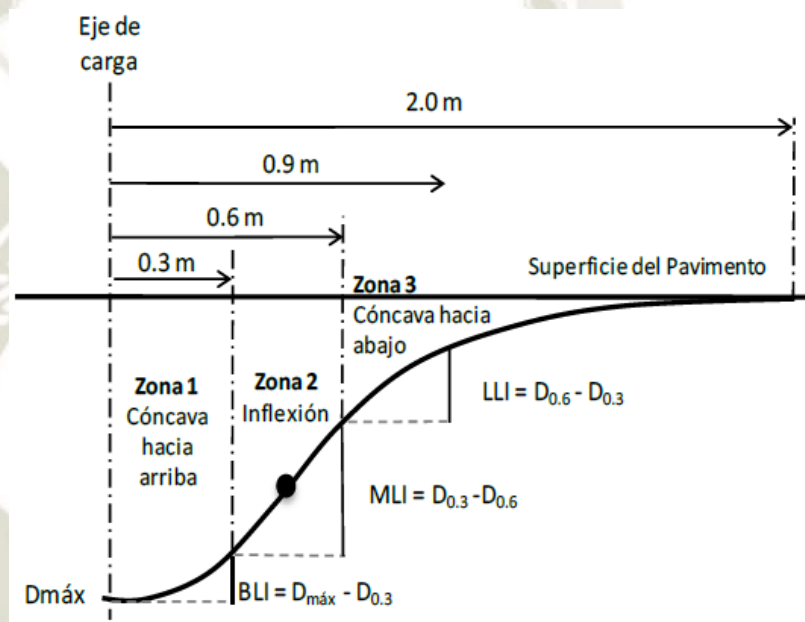
d) Factores de Forma

Horak (1998) planteó dividir el cuenco de deflexiones en 3 zonas, tal como se ve en la Imagen N°2.16.

Según Horak et al. (2009) la zona 1 dado por el valor BLI (o ICS en inglés) ubicado a 0.30m del eje de carga, es cóncava hacia arriba y da una indicación de la rigidez de la superficie de rodadura y la base, la zona 2 dado por el valor MLI (o IDB en inglés) corresponde a la zona donde se ubica el punto de inflexión generalmente y se asocia con la rigidez de

la subbase; y la zona 3 dado por el valor LLI (o ICB en inglés) es cóncava hacia abajo y da la indicación de las capas estructurales más bajas (subrasante). Para pavimentos flexibles valores de IDB por encima de 0.150 mm indican un comportamiento deficiente de la base granular, en cambio sí es menor a 0.080 mm representa una condición pobre de la subrasante.

Imagen N°2.16. Zonas de cuenco de deflexiones



Fuente: Beltrán (2012)

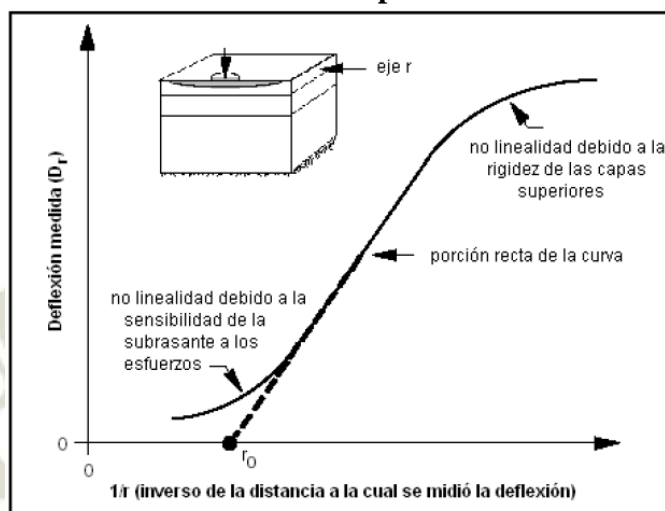
2.8.3.3.2. Profundidad de la capa rígida

La profundidad de la capa rígida bajo la subrasante tiene impacto en la magnitud de las deflexiones. Según el Instituto Nacional de Vías el procedimiento más utilizado es el propuesto por Rohde & Scullion. Este método supone que la deflexión medida en la superficie es el resultado de los diferentes materiales que se encuentran en la zona de esfuerzos aplicados.

Una estimación de la profundidad a la cual ocurre deflexión nula se puede obtener de una gráfica en la que se relacionen las deflexiones medidas en la superficie con el inverso de las distancias a las que se midieron ($1/r$), como se ve en la Imagen N°2.17. En este esquema la distancia a la cual

ocurre la deflexión cero (r_0) se estima extendiendo la parte recta hasta el eje de las abscisas.

Imagen N°2.17. Inverso de la distancia del geófono vs deflexión medida por el mismo



Fuente: Guía de rehabilitación de INVIAS

Debido a distintos factores específicos de cada pavimento, existen distintas situaciones para determinar la profundidad de capa rígida (B) las cuales son:

- Si la carpeta asfáltica tiene menos de 50mm de espesor:

$$\frac{1}{B} = 0.0362 - 0.3242 * (r_0) + 10.2717 * (r_0)^2 - 23.6609 * (r_0)^3 - 0.0037 * ICB$$

- Si la carpeta asfáltica tiene entre 50 y 100mm de espesor:

$$\frac{1}{B} = 0.0065 + 0.1652 * (r_0) + 5.4290 * (r_0)^2 - 11.0026 * (r_0)^3 - 0.0004 * IDB$$

- Si la carpeta asfáltica tiene entre 100mm y 150mm de espesor:

$$\frac{1}{B} = 0.0413 + 0.9929 * (r_0) - 0.0012 * ICS + 0.0063 * IDB - 0.0778 * ICB$$

- Si la carpeta asfáltica tiene más de 150mm de espesor:

$$\frac{1}{B} = 0.0409 + 0.5669 * (r_0) + 3.0137 * (r_0)^2 + 0.0033 * IDB - 0.0665 * \log(ICB)$$

Donde:

B: Profundidad de la capa rígida (pies)

r_0 : Distancia de intersección de la curva $1/r$ (1/pie)

$$ICS: D_0 - D_{300}$$

$$IDB: D_{300} - D_{600}$$

$$ICB: D_{600} - D_{900}$$

ICS: índice de curvatura superficial o índice de capa base. (mils)

IDB: índice de daño de la base o índice de capa media. (mils)

ICB: índice de curvatura de la base o índice de capa inferior. (mils)

2.8.3.3.3. Módulo de la subrasante por cálculo directo

Algunos investigadores han desarrollado métodos simples para estimar de manera directa el módulo de la subrasante a partir de los valores de deflexión. Detallamos algunos a continuación:

a) Método de Yonapave

La expresión para determinar el módulo de la subrasante es:

$$E_0 = m * \left[\frac{p}{D_0} \right] * l_0^n \quad \text{Ec. 2. 7}$$

$$l_0 = A * e^{B*Area} \quad \text{Ec. 2. 8}$$

Donde:

E_0 : Módulo de la subrasante (MPa)

p: Presión del plato de carga (kPa)

D_0 : Deflexión máxima bajo el plato de carga (0.001 mm)

l_0 : longitud característica del cuenco de deflexión (cm)

A, B, m, n: Coeficientes de ajuste. Tabla N°2.12

Tabla N°2.12. Coeficientes de ajuste A, B, m, n

Rango de Área	A	B	m	n
Mayor o igual a 23	3.275	0.1039	926.9	-0.8595
Mayor o igual a 21 y menor de 23	3.691	0.0948	1152.1	-0.8782
Mayor o igual a 19 y menor de 21	2.800	0.1044	1277.6	-0.8867
Menor de 19	2.371	0.1096	1344.2	-0.8945

Fuente: guía de rehabilitación de INVIAS

b) Método de AASHTO

Otro método fue el propuesto por AASHTO en 1993, el cálculo emplea la teoría de Boussinesq, el cual supone un sistema bicapa. Este método permite determinar el Módulo resiliente (M_r) de la subrasante y el módulo efectivo del pavimento (E_p). Para la estimación del módulo de la subrasante se calcula según la siguiente ecuación:

$$M_r = \frac{P(1 - \mu^2)}{\pi * d_r * r} \quad \text{Ec. 2. 9}$$

Donde:

M_r : Módulo resiliente de la subrasante (psi)

P: carga aplicada (lb)

d_r : Deflexión medida a una distancia r del centro de plato de carga (pulgadas)

r: Distancia desde el centro del plato de carga (pulgadas).

μ : módulo de poisson de la subrasante

La distancia respectiva de la deflexión d_r debe ser lo suficientemente alejada del plato de carga como para que esta se deba solo a la deformación de la subrasante (sea independiente de las capas superiores) y para que la carga aplicada se pueda considerar como una carga puntual como la ecuación lo establece; además la distancia no debe ser muy grande ya que las deflexiones podrían ser muy pequeñas y por lo tanto muy difíciles de medir con exactitud necesaria.

La distancia “r” mínima a utilizar en la ecuación debe cumplir la siguiente ecuación:

$$r \geq 0.7 * ae \quad \text{Ec. 2. 10}$$

$$ae = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2} \quad \text{Ec. 2. 11}$$

Donde:

ae: Radio del bulbo de esfuerzos en la interface estructura-subrasante (pulg.)

a: radio del plato de carga (pulg.)

D: espesor de las capas del pavimento (pulg.)

E_p : Módulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante (psi)

El módulo efectivo propuesto en la ecuación, refleja la capacidad estructural del pavimento existente, es decir la rigidez de la carpeta asfáltica y los materiales que se encuentran por debajo. El módulo efectivo se obtiene de la ecuación:

$$d_0 = 1.5 * p * a \left(\frac{1}{Mr \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} * \sqrt[3]{\frac{E_p}{Mr}} \right)}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right) \quad \text{Ec. 2.12}$$

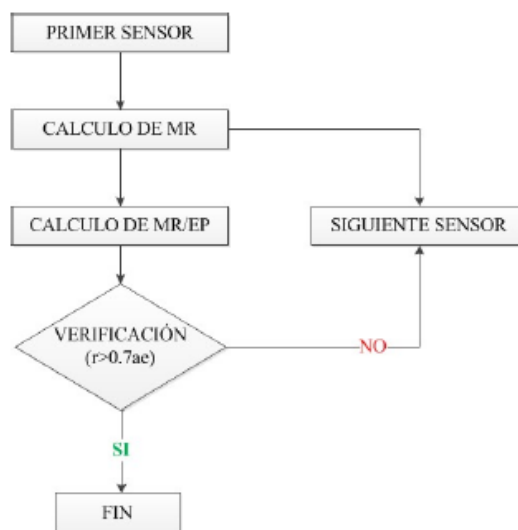
Donde:

d_0 : Deflexión central (pulgadas)

p : Presión del plato de carga (psi)

Según Olarte (2015) el proceso antes descrito se puede automatizar mediante programas computacionales que siguen el proceso iterativo representado en el diagrama de flujo que se presenta en la Imagen N° 2.18.

Imagen N° 2.18. Algoritmo del método de retrocálculo AASHTO 1993



Fuente: Olarte 2015

c) Método Hogg

Es otro método adicional, propuesto en el documento FHWA-HRT-05-152, y basado en el modelo de Hogg el cual reemplaza el sistema elástico multicapa por uno bicapa equivalente. El modelo considera el grosor de la estructura del pavimento y se basa en la rigidez de este y de la subrasante.

El modelo emplea la deflexión máxima y una deflexión adicional, a una distancia tal que sea la mitad de la deflexión máxima. La ecuación para determinar el módulo es la siguiente:

$$E_0 = I \frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)}{2(1 - \mu_0)} \left[\frac{S_0}{S} \right] \left[\frac{p}{D_0 l} \right] \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

E_0 : Módulo de la subrasante.

I : factor de influencia.

μ_0 : Módulo de poisson de la subrasante.

S : rigidez del pavimento (p/D_0).

p : carga aplicada.

D_0 : deflexión central.

l : longitud característica del cuenco de deflexión.

S_0/S : Relación entre la rigidez de la carga puntual teórica y la rigidez del pavimento.

$$l = y_0 \frac{r_{50}}{2} + [(y_0 r_{50})^2 - 4m\alpha r_{50}]^2 \quad \text{Ec. 2.14}$$

si: $\frac{\alpha}{l} > 0.2$, entonces $l = (y_0 - 0.2m)r_{50}$ Ec. 2.15

$$\left[\frac{S_0}{S} \right] = 1 - \bar{m} \left[\frac{\alpha}{l} - 0.2 \right] \quad \text{Ec. 2.16}$$

si: $\frac{\alpha}{l} < 0.2$, entonces $\left[\frac{S_0}{S} \right] = 1.0$ Ec. 2.17

Donde:

y_0 : Coeficiente de longitud característica Ver Tabla N° 2.13

m : Coeficiente de longitud característica. Ver Tabla N° 2.13

α : Coeficiente de ajuste de la curva. Ver Tabla N° 2.13

r_{50} : Distancia a la cual la deflexión es igual a la mitad de la deflexión máxima.

($D_r/D_0=0.50$).

$$r_{50} = r \frac{(1/\alpha)^{1/\beta} - B}{\left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{D_0}{D_r} - 1\right)\right]^{1/\beta} - B} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

β : Coeficiente de ajuste de la curva. Ver Tabla N° 2.13

B: Coeficiente de ajuste de la curva. Ver Tabla N° 2.13

Se consideran 3 casos para este método. Según la Guía Metodológica de INVIAS, los casos I y II son para capas elásticas finitas con un espesor efectivo asumido de 10 veces la longitud característica del cuenco de deflexiones mientras que el caso III corresponde a una fundación elástica infinita. Como se puede ver en la Tabla N° 2.13, los casos I y II (de espesores finitos) usan módulos de poisson 0.50 y 40 respectivamente.

El caso II es el mayormente usado con propósitos de evaluación de pavimentos mediante cálculo directo.

Tabla N° 2.13. Coeficientes del modelo de Hogg

		CASO I	CASO II	CASO III
Distancia a soporte rígido	H/l	10	10	Infinito
Relación de Poisson	μ_0	0.50	0.40	Cualquiera
Factor de influencia	l	0.1614	0.1689	0.1925
Rango D_r/D_0		> 0.70	> 0.43	Cualquiera
$r_{50} = f(D_r/D_0)$	α	0.4065	0.3804	0.3210
	β	1.6890	1.8246	1.7117
	B	0	0	0
Rango D_r/D_0		< 0.70	< 0.43	
$r_{50} = f(D_r/D_0)$	α	2.6947E-3	4.3795E-4	
	β	4.5663	4.9903	
	B	2	3	
$l = f(r_{50}, a)$	γ_0	0.642	0.603	0.527
	m	0.125	0.108	0.098
$(S/S_0) = f(a/l)$	\bar{m}	0.219	0.208	0.185

Fuente: Guía Metodológica INVIAS 2008

El desarrollo de esta metodología es complicado, es por eso que la FHWA ha elaborado hojas de cálculo que simplifican el proceso para automatizar el cálculo. Dichas hojas se pueden solicitar de manera gratuita al correo: ltpinfo@fhwa.dot.gov.

2.8.3.3.4. Teoría del retrocálculo aplicada a pavimentos

Retrocálculo se le denomina al proceso mediante el cual las deflexiones obtenidas por los geófonos de los dispositivos de deflectometría (FWD, HWD, LWD, etc.) y con los datos de espesores, temperaturas, se transforman en módulos resilientes y módulos elásticos de cada capa individualmente.

En la Tabla N°2.14 se muestra la metodología del retrocálculo.

El retrocálculo inicialmente requiere de valores iniciales de módulo para cada una de las capas (módulo semilla), o un rango mínimo y máximo. Estos valores mediante un proceso iterativo son ajustados hasta que la curva calculada y la curva medida presenten un error menor al definido por el usuario.

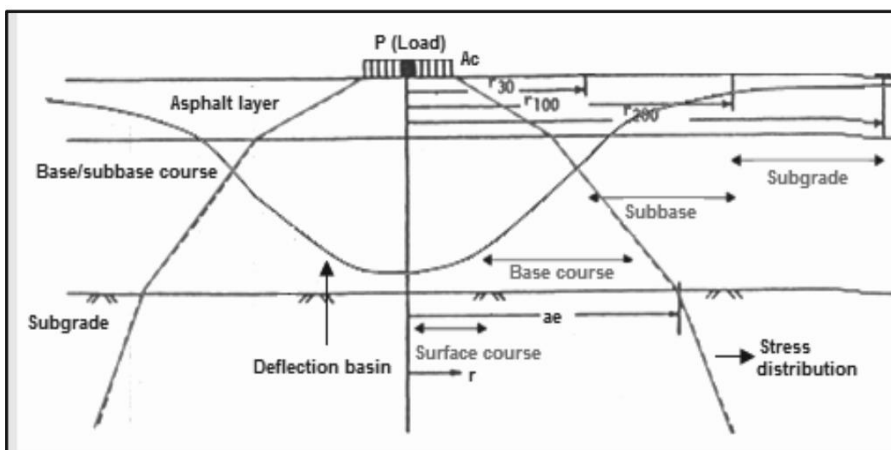
La forma y dimensión del cuenco de deflexiones muestra las características estructurales del pavimento y su subrasante. Las deflexiones medidas hacia el extremo del cuenco relejan la condición de la subrasante, mientras que a medida que se acerca al centro refleja las capas más próximas. Ver Imagen N° 2.19.

Tabla N°2.14. Fundamentos de la teoría del retrocálculo

Cálculo directo		
Datos de entrada		Resultados
E, D_i, μ	→	d, σ, ϵ
Retrocálculo		
d, D_i, μ	→	E, σ, ϵ

Fuente: Bejarano 2013

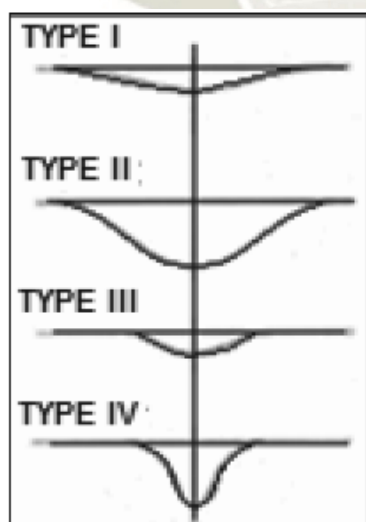
Imagen N° 2.19. Esquema del cuenco de deflexiones



Fuente: Bejarano 2013

En la Imagen N°2.20 se observa la evaluación del pavimento de acuerdo a la extensión (L_0) y profundidad máxima D_0 del cuenco, estos parámetros pueden indicar el estado o característica del terreno de fundación y la estructura del pavimento.

Imagen N°2.20. Características del cuenco de deflexiones



TIPO	D_0	L_0	EVALUACIÓN
I	Bajo	Alto	Buena subrasante Buen pavimento
II	Alto	Alto	Mala subrasante Buen pavimento
III	Bajo	Bajo	Buena subrasante Mal pavimento
IV	Alto	Bajo	Mala subrasante Mal pavimento

Fuente: Bejarano 2013

2.9. ESTUDIO DE TRANSITO

2.9.1. Introducción

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento (Montejo, 2002, p.17).

En el diseño de pavimentos es importante conocer la carga y/o aplicación que se ejercerá sobre la estructura del pavimento a través del volumen de tránsito que existe y existirá durante el periodo de vida útil del pavimento. Como lo menciona Montejo (2002), “la repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo” (p.9).

Este flujo vehicular se expresa utilizando un parámetro conocido como ESAL (Equivalent Single Axel Load) o carga equivalente de eje simple, que considera un eje simple equivalente de 18 kips. Este valor representa el efecto dañino que producen los vehículos sobre el pavimento.

2.9.2. Clasificación Vehicular

Para realizar el estudio de transito se deberá analizar cada vehículo de acuerdo a su clasificación, según el decreto supremo N°058-2003 MTC del reglamento Nacional de Vehículos nos proporciona la clasificación, tabla de pesos y medidas de vehículos, se optará por tomar el 100% del peso máximo de cada vehículo con propósitos de análisis de tránsito en la presente tesis.




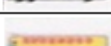






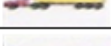
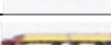




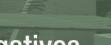
En la Tabla N°2.15 se encuentra la equivalencia entre la clasificación vehicular FHWA y el MTC., y en la Tabla N°2.16 se presenta el esquema y pesos de los vehículos

Tabla N°2.15. Equivalencia entre categorías FHWA y MTC

Clase	FHWA	MTC PERU
1	Motociclistas	Motocicleta
2	Automóviles	Automóviles
3	Dos ejes, cuatro ruedas	Pick up-combi rural, microbús
4	Ómnibus	B2,B3-1
5	Camión simple, dos ejes, seis ruedas	C2 (1-1)
6	Camión simple, tres ejes	C3 (1-2)
7	Camión simple, cuatro o más ejes	C4 (1-3)
8	Semirremolque, cuatro o menos ejes	T2S1 (2S1,2S2)
9	Semirremolque, cinco ejes	T2S3, T3S1 (3S1,3S2)
10	Semirremolque, seis o más ejes	T3S3
11	Camión o semi c/acoplado, 5 o menos ejes	C2R2 (2T2), C2R3 (2T3)
12	Camión o semi c/acoplado, 6 ejes	C3R2 (3T2), C3R3 (3T3)
13	Camión o semi c/acoplado, 7 o más ejes	-

Fuente: Gonzales, (2014)

Tabla N°2.16. Pesos y medidas vehiculares

CONF. VEH.	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA DE EJES	PESO MAXIMO (tn)				PESO BRUTO MAXIMO (tn)
				EJE DELANTERO	EJES POSTERIORES			
					1º	2º	3º	
	Auto		1-1	0.67	0.67	-	-	1.34
	Pick up		1-1	1.3	1.3	-	-	2.6
	Combi rural		1-1	1.4	1.4	-	-	2.8
	Micro		1-1	3.82	3.82	-	-	7.64
B2	Bus 2E		1-1	7	11	-	-	18
B3-1	Bus 3E		1-2	7	16	-	-	23
C2	Camion 2E		1-1	7	11	-	-	18
C3	Camion 3E		1-2	7	18	-	-	25
C4	Camion 4E		1-3	7	23	-	-	30
T2S1	Semi Trayler 2S1/2S2		1-1-1	7	11	11	-	29
T2S3	Semi Trayler 2S3		1-1-3	7	11	25	-	43
T3S1	Semi Trayler 3S1/3S2		1-2-1	7	18	11	-	36
T3S3	Semi Trayler 3S3		1-2-3	7	18	25	-	50
C2R2	Trayler 2T2		1-1-1-1	7	11	11	11	40
C2R3	Trayler 2T3		1-1-1-2	7	11	11	18	47
C3R2	Trayler 3T2		1-2-1-1	7	18	11	11	47
C3R3	Trayler 3T3		1-2-1-2	7	18	11	18	54

FUENTE: Reglamento Nacional De Vehículos

2.9.3. Crecimiento del tránsito

Según el “Manual de Carreteras – Sección Suelos y pavimentos” del MTC, se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T_o = Tránsito actual en veh/día

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

n = Número de años en el periodo de diseño

2.9.4. Ejes equivalentes de Carga

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHO es de 80 KN o 18 kips. La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga, denominados LEF por sus siglas en inglés (“Load Equivalent Factor”) o Factor Equivalente de Carga (Guía de Diseño de pavimentos AASHTO, 1993).

Factor equivalente de carga:

El concepto de convertir un tránsito mixto en un número de ESALs de 80 KN fue desarrollado en el Road Test de AASHO, en este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido.

Así el factor equivalente de carga o LEF es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una dada carga de un tipo

de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje (Guía de Diseño de pavimentos AASHTO, 1993).

$$LEF = \frac{\text{No. De ESALs de 80 KN que producen una pérdida de Serviciabilidad}}{\text{No. de ejes x KN que producen la misma perdida de serviciabilidad}}$$

2.9.5. Calculo de EALF

Este valor depende del número estructural del paquete, la serviciabilidad y la carga aplicada y puede ser determinado por:

- Ecuaciones del Ensayo AASHTO.
- Tablas de la guía AASHTO en función de la serviciabilidad y número estructural.
- Relaciones simplificadas en base a correlaciones dadas por la Guía AASHTO 1993.

Calculamos usando las siguientes formulas:

$$G = \log \left(\frac{4.2 - Pt}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{Ec. 2. 20}$$

$$B_{18} = 0.4 + \left[\frac{0.081 (L_{18} + L_{2s})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \times L_{2s}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. 2. 21}$$

$$B_x = 0.4 + \left[\frac{0.081 (L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \times L_{2s}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. 2. 22}$$

$$EALF = \left[\left(\frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right)^{4.79} \left(\frac{10 \frac{G}{B_x}}{10 \frac{G}{B_{18}}} \right) (L_{2x})^{4.33} \right]^{-1} \quad \text{Ec. 2. 23}$$

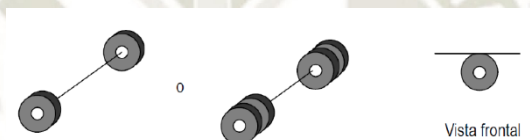
Donde:

- **L_x** es el peso del eje común en kips.
- **L₁₈** es el valor de carga equivalente (18 kips/eje).

- **L2x** es el factor que define el tipo de eje Lx a determinar como eje equivalente simple; 1 para eje simple, 2 para eje tándem, 3 para eje trídem.
- **L2s** es el número de ejes equivalente a determinar, este valor es 1.
- **Pt** es la serviciabilidad final del pavimento, 2.5 recomendado por la AASHTO.
- **SN** es el número estructural del pavimento flexible.
- **G** es el factor de pérdida de serviciabilidad (Guía de Diseño de pavimentos AASHTO, 1993).

Para el cálculo usaremos los pesos máximos de la Tabla N°2.15 y hallaremos el EALF por Tipo de eje.

- Eje simple: es un eje en cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas



- Eje tándem: Es aquel constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.



- Eje trídem: Es aquel constituido por tres ejes simples con rueda doble en los extremos (Montejo A., 2002).



2.9.6. Cálculo de ESAL

El valor acumulado de ejes equivalentes para todo el periodo de análisis se llama ESAL “equivalent simple axial load” de diseño o W18. Se debe calcular el número acumulado de ejes equivalentes de toda la flota por todo el periodo de análisis. Para obtener este valor se utiliza la siguiente ecuación:

$$ESAL_i = n_i \times EALF_i \times D \times L \times 365 \times g \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

n_i = número de vehículos del grupo i medio diario anual (simple, tándem y Tridem)

D = Factor de distribución direccional

L = Factor de distribución por carril.

365 = convierte ejes equivalentes por día a ejes equivalente por año

g = Factor de incremento del crecimiento anual (Guía de Diseño de pavimentos AASHTO, 1993).

2.10. IMPLEMENTACION CLIMATICA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

2.10.1. Introducción

Para la realización del diseño de la estructura del pavimento, existe diferentes variables o factores que influyen e intervienen en el comportamiento durante su periodo de vida de útil de dicha estructura, según Mendoza (2017), el principal factor que afecta el desempeño de un pavimento es el clima.

En la guía de diseño mecánica-empírica, considera las distintas variables climáticas, agrupándolas en un modelo climático integrado que se encarga de elaborar perfiles de humedad y de temperatura.

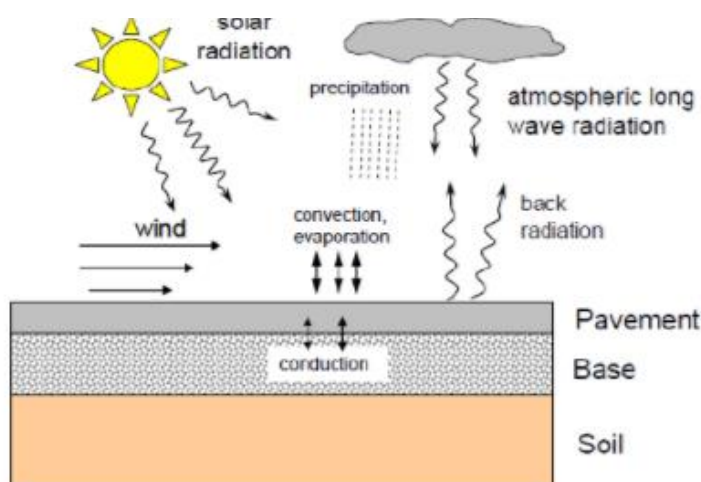
Los datos climáticos son necesarias para la predicción de deterioro o falla de pavimento incluyen la temperatura a cada hora, precipitación, velocidad del viento, humedad relativa y nubosidad. Estos datos se utilizan para predecir el contenido de temperatura y humedad en cada una de las capas del pavimento, así

como para proporcionar algunos datos de entrada para el parámetro del factor sitio para los modelos de predicción de la regularidad superficial.

Existe una compleja interacción entre los factores climáticos con los materiales usados en las capas de la estructura del pavimento y las cargas producidas por el tránsito, estos factores inciden en el contenido de humedad del pavimento y de la subrasante, afectando directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y finalmente en el desempeño.

Según Menéndez (2017), en el Perú se suele asignar un valor de coeficiente de capa único sin tomar en cuenta los materiales usados en las mezclas, ni cargas actuantes y clima, siendo un país con una gran cantidad de microclimas se debe considerar un valor de coeficiente de cada, sabiendo que la mezcla asfáltica es un material visco elástico que depende de la temperatura y frecuencia de carga. En la Imagen N°2.21 se puede observar la influencia de las condiciones climatológicas sobre el pavimento flexible.

Imagen N°2.21. Factor clima sobre la superficie del pavimento



Fuente: Incorporación del efecto clima en el procedimiento de Diseño de pavimentos asfálticos del MTC y AASHTO 93

2.10.2. Importancia de los factores climáticos en el diseño de pavimentos

Según la Laname UCR, un pavimento idealmente diseño y constituido debe ser capaz de resistir las variaciones estacionales del clima. Los diferentes cambios de temperatura, las fuertes lluvias exponen la infraestructura vial a fallar prematuramente, por lo cual se debe considerar en el diseño todos los factores que

afectan la variación de temperatura del pavimento y el contenido de humedad de las capas granulares.

Las condiciones climáticas en los pavimentos no generan nuevos impactos en los pavimentos, pero en consecuencia si acelera el deterioro.

El clima y tráfico son los factores externos más influyentes en el pavimento, pueden ocasionar un progresivo deterioro a lo largo de su vida útil. Los principales factores ambientales que influyen en el desempeño de la estructura: la precipitación, temperatura y radiación solar (Leiva, Aguiar & Camacho, 2016).

La estructura del pavimento se vuelve vulnerable a los efectos climáticos, afectando directamente al desempeño de esta, a continuación, se presenta como afecta cada factor climático sobre la estructura del pavimento:

- El efecto combinado de agua y calor se traduce en un deterioro de la parte asfáltica superficial por oxidación del asfalto. La oxidación del asfalto significa la pérdida de su poder cohesivo y su elasticidad.
- El efecto del agua y baja temperatura (bajo 0°C) producen un rápido deterioro en bases y sub-bases.
- Las altas temperaturas (mayores a 45°C) aceleran la deformación de la carpeta asfáltica, por lo que la aparición de roderas, canalizaciones (blandones) y ondulaciones aumenta.
- Las altas temperaturas (mayores a 45°C) aceleran la deformación de la carpeta asfáltica, por lo que la aparición de roderas, canalizaciones (blandones) y ondulaciones aumenta.
- La resistencia al deslizamiento está en la textura de la superficie del pavimento, la cual es alterada por la temperatura y las precipitaciones intensas. La tasa de pulido de la superficie depende del tránsito y del tipo de agregado, sin embargo, las altas temperaturas expanden la carpeta asfáltica disminuyendo la resistencia al deslizamiento.
- Cuando el agua entra al pavimento, el proceso de congelamiento en invierno o descongelamiento en primavera, produce expansión y contracción del pavimento, generando tensión y estrés a la estructura, y puede generar grietas que se propagan en toda la estructura.
- Las precipitaciones intensas dañan la película asfáltica que recubre el pavimento, por lo que se vuelve más susceptible la carpeta asfáltica

permitiendo que el agua penetre a las diferentes capas del pavimento como consecuencia de la presión hidráulica (Mendoza & Marcos, 2017)

2.10.3. Índice de Humedad de THORNTHWAITE (TMI)

“El Thornthwaite Moisture Index (TMI) fue introducido por C.W. Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) para clasificar las condiciones climáticas de diferentes áreas geográficas. Es un índice adimensional que varía de +100 a -100 que representa condiciones climáticas de húmedo a árido, respectivamente.

Aunque el objetivo principal del TMI era clasificar las condiciones climáticas, ha sido ampliamente aceptado en diferentes áreas tales como agricultura, hidrología, diseño de pavimento y diseño de zapatas. Las preocupaciones recientes relacionadas con el cambio climático y sus efectos sobre el diseño de las infraestructuras de ingeniería civil se han discutido utilizando TMI (Austroads, 2004, Leao y Osman, 2013).

Los efectos del cambio climático y la necesidad de adaptación de la infraestructura a las condiciones climáticas cambiantes brindan la oportunidad de nuevas aplicaciones del Índice de Humedad Thornthwaite. Cuando se incluye el TMI como un parámetro en el diseño y evaluación de la infraestructura, es posible analizar y adaptar el entorno cambiante.

Como se indicó anteriormente, el Índice de humedad de Thornthwaite (TMI) puede describirse generalmente como un reflejo de la aridez o humedad del suelo y el clima, calculado a partir de los efectos colectivos de la precipitación, la evapotranspiración, el almacenamiento de agua en el suelo, el déficit de humedad y el escurrimiento (Austroads, 2010).

Thornthwaite identificó la evapotranspiración potencial como un elemento climático de gran importancia. Sin embargo, representaba una construcción teórica que sería posible en condiciones ideales de humedad y vegetación del suelo, y le resultó muy difícil de determinar. Luego pasó a describir los índices de humedad (I_h) y aridez (I_a) para definir el excedente o déficit de agua en términos de la necesidad de agua o la evapotranspiración potencial.

2.10.4. Importancia del TMI en el diseño de pavimentos

La caracterización del sitio y el estudio del suelo es una parte importante en el diseño de cimentaciones y pavimentos, ya que los suelos pueden causar efectos en la estructura a diseñar; El clima es la influencia natural que impulsa los cambios en la humedad del suelo y, como tal, los procedimientos de diseño generalmente incluyen parámetros de diseño impulsados por el clima. El uso de TMI se ha aceptado generalmente como una base razonable sobre la cual se pueden inferir las profundidades del cambio de humedad estacional y se acepta ampliamente en el diseño de cimientos y pavimentos (Fityus y Buzzi, 2008).

Según Austroads (2004), los pavimentos se encuentran directamente afectados por las condiciones de humedad del suelo, debilitándolo y siendo más susceptibles a daños por carga de vehículos pesados, acortando su vida útil.

El uso de TMI se ha aceptado generalmente como una base razonable sobre la cual se pueden inferir las profundidades del cambio de humedad estacional y se acepta ampliamente en el diseño de cimientos y pavimentos (Fityus y Buzzi, 2008).

Existen muchas investigaciones del uso del TMI en los pavimentos:

- Russam y Coleman, (1961) se usó TMI como un indicador de los valores de succión de equilibrio a largo plazo entre cubiertas como pavimentos y losas de cimiento.
- Perera et al. (2004) donde se usó el TMI como parte de un modelo para predecir las succiones debajo de los pavimentos.
- Carpenter et al. (1974) realizó un estudio sobre las influencias ambientales importantes en el estudio del agrietamiento del pavimento sin carga asociada en el oeste de Texas, EE. UU.
- Jayatilaka y Lytton (1997) incorporan el TMI en su metodología para predecir la capacidad de predecir la rugosidad en una trayectoria de rueda determinada en pavimentos con o sin barreras verticales de humedad.
- Main Roads Queensland también utiliza el TMI para determinar los requisitos de diseño específicos con respecto a la red de carreteras (MRQ, 2009). El valor de TMI para el sitio donde se construye el pavimento de la carretera se utiliza para determinar la altura del pavimento desde el nivel del suelo natural.

- El grupo ARRB Transport Research El TMI es un parámetro importante que representa la condición climática de las carreteras analizadas en estos modelos de componentes, y afecta el costo total del ciclo de vida de los pavimentos (Taylor, M., & Philp, M. 2012).
- Austroads (2010) emprendió un proyecto para desarrollar un modelo de predicción del rendimiento del pavimento para reflejar el rendimiento de los pavimentos flexibles australianos. Antes de este estudio, la mayoría de los modelos de rendimiento de pavimento en uso se desarrollaron a partir de los datos obtenidos en Brasil, el Caribe y Kenia desde 1971 hasta 1984 (Austroads, 2010).



CAPITULO III

3. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO CONSTRUIDO

3.1. INTRODUCCION

Para poder analizar los softwares simplificados de metodología mecánica empírica, se debe abordar un caso real de una vía construida en Arequipa para posteriormente realizar un estudio de la propia vía.

Por lo cual debemos obtener información de la vía en su proceso de construcción, para realizar una verificación in situ, así como valores que nos ayudaran en la posterior calibración de la vía.

La municipalidad distrital de Cayma nos proporcionó información del expediente técnico y expediente de liquidación de la Av. Trinidad Moran, la cual detallaremos información necesaria para la realización de la presente tesis.

3.2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

El proyecto **“MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DE LAS AVENIDAS TRINIDAD MORAN, CAYMA, BOLOGNESI, MIGUEL GRAU, EN LA ZONA BAJA Y MEDIA, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA”**, fue ejecutado en el año 2010 por la municipalidad distrital de Cayma, su objetivo principal es brindar adecuadas condiciones de transitabilidad vehicular a los pobladores que habitan en las principales vías del distrito de Cayma, los pobladores de las zonas aledañas a las principales vías, así como las personas de la ciudad de Arequipa que transitan en la zona.

El siguiente proyecto tiene como metas programadas:

Tabla N°3.1. Metas del proyecto

Descripción	Cantidad	Unidad
Sub-base granular 15 cm	31,729.76	m ²
Base granular 15 cm	31,729.76	m ²
Carpeta asfáltica en frío 3"	2,968.77	m ²
Carpeta asfáltica en caliente 2.5"	31,729.76	m ²

Fuente: Expediente técnico

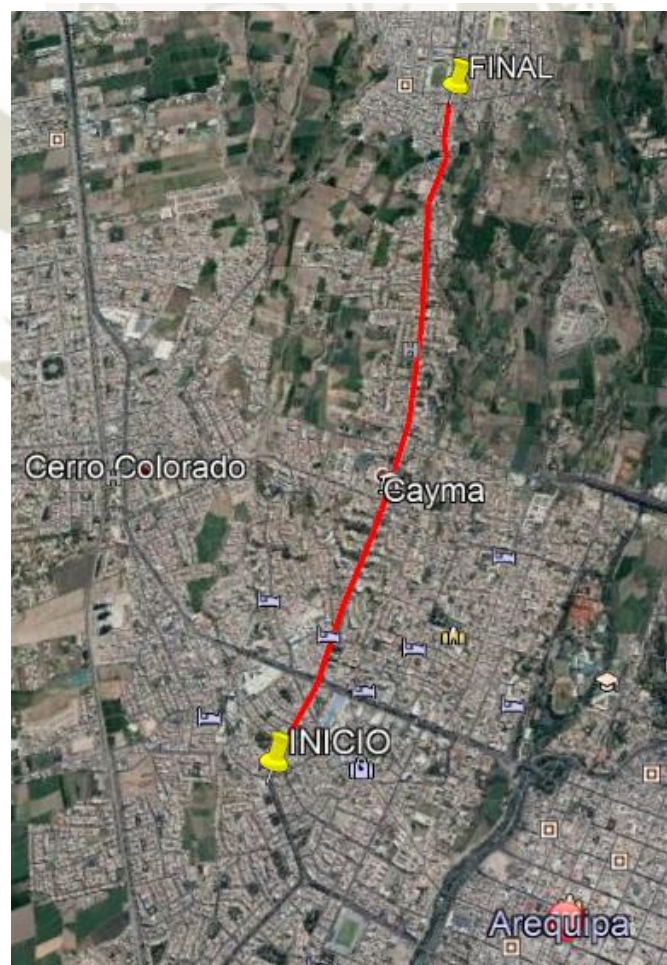
3.3. LOCALIZACION Y UBICACIÓN

El siguiente proyecto se encuentra en la parte norte de la Ciudad de Arequipa en el distrito de Cayma comienza en la delimitación con el distrito de Yanahuara con la Av. Trinidad Moran hasta la intersección de la Av. Ejército; siguiendo en la misma dirección con la Av. Cayma y prosigue la Av. Bolognesi. En la Imagen N°3.1 muestra el tramo del proyecto.

La ubicación del proyecto es:

- Región: Arequipa
- Provincia: Arequipa
- Distrito: Cayma
- Lugar: Principales vías de Cayma
- Latitud: $16^{\circ}23' 29''$ S
- Longitud: $71^{\circ} 32' 54''$ O

Imagen N°3.1. Tramo del proyecto



Fuente: Google Earth

3.4. DESCRIPCION DEL TRAMO DE ESTUDIO

El proyecto a estudiar abarca las avenidas más importantes del distrito de Cayma, las cuales con propósito de tesis se analizará la vía más importante, están distribuidas de la siguiente manera como se puede observar en la Tabla N°3.2.

Tabla N°3.2. Tipo de mezcla asfáltica en proyecto

Avenida	Progresiva	Asfalto
Av. Trinidad Moran	Km 0+000-Km 0+430	Caliente
Av. Cayma	Km 0+457-Km 1+338	Caliente
Av. Bolognesi-Calle Bolognesi	Km 1+389-Km 2+992.5	Caliente
Av. Miguel Grau	Km 0+000-Km 0+315	Frio

Fuente: Expediente técnico

Para objetivos de tesis se necesitará analizar una vía en asfalto en caliente y que contenga un tránsito importante; para lo cual la Av. Trinidad Moran y Av. Cayma cumplen con las características necesarias.

Se realizó un estudio de tránsito para ambas avenidas la cual con un mayor tránsito y también tráfico pesado es la Avenida Trinidad Moran, la vía a analizar en la presente tesis.

3.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

El diseño de la estructura del pavimento flexible fue realizado mediante la metodología AASHTO 93, los datos tomados son propios del expediente técnico, los cuales se presentará en la Tabla N°3.3.

Tabla N°3.3. Diseño del pavimento flexible

1. CARACTERISITICAS DE MATERIALES		DATOS
A. Módulo de Resiliencia de la carpeta asfáltica (ksi)		400.00
B. Módulo de Resiliencia de la base granular (ksi)		30.00
C. Módulo de Resiliencia de la Sub-base (ksi)		15.00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE		
A. Numero de Ejes Equivalentes total (W18)		3.50E +06
B. Factor de confiabilidad		85%
Desviación estándar		0.45
C. Módulo de Resiliencia de la Subrasante (Mr, ksi)		53.45
D. Serviciabilidad Inicial (pi)		4.0
D. Serviciabilidad Final (pt)		2.5
F. Periodo de diseño (años)		20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO		
A. Coeficientes estructurales de capa		
Concreto asfaltico convencional (a1)		0.65
Base granular (a2)		0.14
Subbase (a3)		0.11
B. Coeficientes de drenaje de capa		
Base granular (m2)		0.90
Subbase (m3)		0.90

Fuente: Expediente técnico

Con los siguientes datos se obtuvo los números estructurales requeridos y el espesor teórico y propuesto de la estructura del pavimento. Como se observa en la Tabla N°3.4.

Tabla N°3.4. Número estructural y espesor del pavimento

Numero estructural		Espesor (cm)		
		Capa	Teórico	Propuesto
SN _{REQ}	1.93	Carpeta	5.0	5.0
SN _{CA}	1.27	Base granular	8.7	15.0
SN _{BG}	0.53	Subbase granular	2.7	15.0
SN _{SB}	0.13	Total		35.0

Fuente: Expediente técnico

3.5.1. Diseño de la estructura del pavimento flexible

De acuerdo a los datos presentados, la estructura del pavimento construida para la Av. Trinidad Moran Km 0+000 hasta Km 0+431, tiene la siguiente estructura:

Tabla N°3.5. Espesores finales de diseño

Capa	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica (mezcla en Caliente)	6.30
Base granular	15.00
Subbase granular	15.00

Fuente: Expediente técnico

3.6. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

El diseño de mezcla asfáltica en caliente se realizó con tamaño máximo 3/4” proveniente de la Cantera km. 20+000 Uchumayo, Provincia de Arequipa fueron aprobados para el proyecto.

Las graduaciones de los Áridos empleados pertenecen a la gradación para mezclas asfálticas en Caliente MAC-2; las características físicos- mecánicas de la mezcla en caliente están diseñadas climas predominantes sobres los 1500 m.s.n.m. y 3500 m.s.n.m. de altitud.

3.6.1. Tipo de Cemento asfáltico

De acuerdo a las características técnicas el cemento asfáltico corresponde al grado de penetración 85-100 recomendados por las condiciones climatológicas de la zona

3.6.2. Gradación propuesta de agregados

Se propusieron los siguientes porcentajes

GRAVA = 40%

ARENA = 57%

FILLER = 3%

Tabla N°3. 6. Granulometría de combinación de Agregados

N° de malla	% pasante	Límite mínimo	Límite máximo
		MAC-2	
1"			
3/4"	100	100	100
1/2"	88.9	80	100
3/8"	76.2	70	88
1/4"	64.4		
N°4	59.2	51	68
N°6	53.4		
N°8	47.3		
N°10	43.8	38	52
N°16	34.7		
N°20	30.5		
N°30	26.3		
N°40	22.4	17	28
N°50	18		
N°80	11.3	8	17
N°100	9.7		
N°200	5.7	4	8

Fuente: Expediente técnico

Tabla N°3.7. Características de la mezcla diseñada

CARACTERISTICAS	UNIDAD	CANTIDAD
Contenido Optimo de asfalto pen 85/100	%	6.3
Peso unitario	gr/cc	2.383
% de vacíos	%	3.4
Flujo	mm	3.45
Estabilidad	kg	1005
Vacíos del agregado mineral (VMA)	%	17.48
Vacíos llenados con cemento asfáltico (VCA)	%	81.00
Índice de Rigidez	kg/cm	2913
Temperatura de la mezcla	°C	140

Fuente: Expediente técnico

Tabla N°3.8. Resumen de Ensayo Marshall

Ensayos	% de Agregado grueso mayor (N°4) en peso de la mezcla	% de Agregado fino menor (N°4) en peso de la mezcla	% de Filler (mínimo % pasa N°200) en peso de la mezcla	Peso específico BULK de la briqueta gr/cc	% de vacíos	Vacíos en el agregado mineral (V.M.A)	Vacíos llenados con cemento asfáltico (V.C.A)	Flujo	Estabilidad
1	37.48	53.41	2.81	2.382	3.46	17.50	80.25	3.58	1049.7
2	37.80	53.87	2.84	2.358	5.58	17.63	68.35	2.08	997.9
3	37.60	53.58	2.82	2.376	4.13	17.44	76.33	2.92	1172.8
4	37.40	53.30	2.81	2.385	3.01	17.55	82.86	3.67	882.7
5	37.20	53.01	2.79	2.387	2.19	17.93	87.78	4.33	728.8
6	37.00	52.73	2.78	2.378	1.86	18.7	90.04	4.83	658.6
Promedio	37.41	53.32	2.81	2.38	3.37	17.79	80.94	3.57	915.08

Fuente: Expediente técnico

3.7. CONTROL DE CALIDAD

Del expediente de liquidación de obra proporcionada por la municipalidad de Cayma obtuvimos datos de ensayos de calidad que se usó en la obra que usaremos posteriormente. En la Tabla N°3.9, obtenemos la prueba de extracción centrífuga para conocer el porcentaje de asfalto y agregados que se usaron en la obra.

Tabla N°3 .9. Lavado Asfáltico en construcción

PRUEBA DE EXTRACCION CENTRIFUGA			
N° control	1	2	3
Temp. de la mezcla	140° C	140° C	140° C
Peso inicial (gr)	1192.1	1643.5	1698.0
Peso final (gr)	1115.6	1538.2	1589.5
Peso C.A. (gr)	76.5	105.3	108.5
% de asfalto	6.42	6.41	6.39
Promedio de diseño		6.30 + 0.3	

Fuente: Expediente técnico

CAPITULO IV

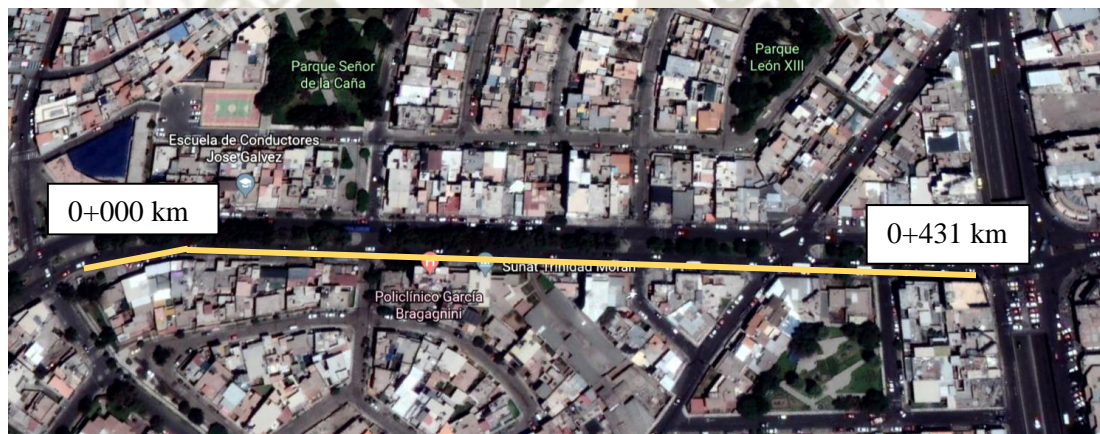
4. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA

4.1. DETERMINACION DE SECCIONES A EVALUAR

En el Capítulo III, después de un estudio de tránsito inicial se determinó que la Av. Trinidad Moran contiene el mayor volumen de tránsito y mayor cantidad de vehículos pesados, por lo cual se eligió dicho carril con propósito de análisis. En el mismo estudio se comprobó que el carril con mayor tránsito generado es el Carril de Subida (derecho).

Este Carril tiene 431m de longitud y ancho variable de 6 m y 8.05 m, por lo cual se analizará en su totalidad. En la Imagen N°4.1, se observa el tramo de estudio.

Imagen N°4.1: Av. Trinidad Moran Carril derecho



Fuente: Google Earth

Kilometro	0+000 a 0+386 km	0+386 km a 0+045 km
Ancho de Carril	6.00 m	8.05 m
Área asfaltada	2316 m ²	362.25 m ²

4.2. EVALUACION DESTRUCTIVA DEL PAVIMENTO

Este tipo de evaluación se fundamenta en la toma de muestras representativas de los materiales, de las diferentes capas que conforma la estructura del pavimento (Meza, 2017).

Se intervino la vía realizando 3 calicatas de 1.00 m de profundidad obteniendo muestras de subrasante, subbase granular, base granular y carpeta asfáltica.

4.2.1. Espesores de capas

Se realizó la medición de los espesores de cada capa que conforma la estructura del pavimento, así como la ubicación de cada calicata; se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°4.1. Espesores de Capas

Muestra	Ubicación	Carpeta asfáltica		Base		Subbase	
		Espesor (cm)	Espesor (plg)	Espesor (cm)	Espesor (plg)	Espesor (cm)	Espesor (plg)
1	Km 0+062	6.5	2.56	15.0	5.90	15.5	6.10
2	Km 0+223	6.6	2.60	15.5	6.10	15.5	6.10
3	Km 0+320	6.5	2.56	15.5	6.10	16.0	6.30

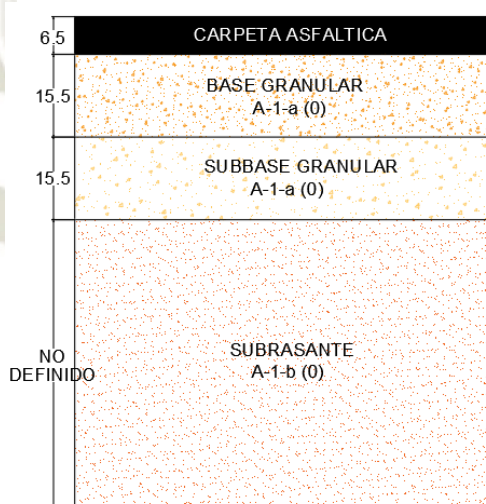
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Perfil estratigráfico

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede realizar un perfil estratigráfico clasificando el suelo de acuerdo a las capas que componen dicho perfil.

Para la clasificación se usará la nomenclatura será AASTHO, debido que es la usada para carreteras.

Imagen N°4.2. Perfil estratigráfico



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Clasificación granulométrica

Granulometría por tamizado: Consiste en la distribución de los tamaños de las partículas a través de analices de tamices, con lo cual nos permite clasificar el material. Para dicha clasificación se utilizará los métodos de clasificación SUCS y AASHTO.

Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma MTC E 107 “Análisis granulométrico de suelos por tamizado”, con referencias en las normas ASTM D422 y AASHTO T 88.

Límites de Atterberg: Estos ensayos ayudan a definir la clasificación de un suelo, en este caso con respecto a su contenido de humedad en los puntos de transición de un estado al otro, los límites a hallar son el límite líquido y límite plástico, con los cuales podemos hallar el Índice de plasticidad.

Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma MTC E 110 y E 111”, con referencias en las normas ASTM D4318 y AASHTO T 89.

Los datos obtenidos y curvas granulométricas se encuentran en el Anexo 4.1 de las capas granulares y subrasante.

Tabla N°4.2. Clasificación SUCS y AASHTO SUBRASANTE

Muestra	Subrasante			
	Calicata	C-1	C-2	C-3
% de Grava (ret. N°4)	5.52	22.89	19.79	
% de Arena (pasa N°4 y ret N°200)	83.15	68.58	72.73	
% de finos (pasa N°200)	11.33	8.53	7.48	
Coficiente Cu	4.6	16.3	12.2	
Coficiente Cc	1.1	0.6	0.6	
Límite líquido (%)	22	23.6	21.8	
Límite plástico (%)	NP	NP	NP	
Índice de plasticidad	NP	NP	NP	
Clasificación SUCS	SW-SM	SP-SM	SP-SM	
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.3. Clasificación SUCS y AASHTO SUBBASE

Muestra	SUBBASE		
Calicata	C-1	C-2	C-3
% de Grava (ret. N°4)	59.24	23.34	49.53
% de Arena (pasa N°4 y ret N°200)	38.66	67.84	50.46
% de finos (pasa N°200)	2.10	8.82	5.69
Coefficiente Cu	22.7	13.8	50
Coefficiente Cc	13	0.6	0.8
Limite liquido (%)	18.2	20.5	19
Limite plástico (%)	NP	19.6	19.7
Índice de plasticidad	NP	0.9	NP
Clasificación SUCS	GW	SP-SM	SP-SC
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.4. Clasificación SUCS y AASHTO BASE

Calicata	BASE		
Calicata	C-1	C-2	C-3
% de Grava (ret. N°4)	55.25	52.65	52.45
% de Arena (pasa N°4 y ret N°200)	38.66	42.06	40.07
% de finos (pasa N°200)	6.09	5.29	7.48
Coefficiente Cu	127.3	47.6	100
Coefficiente Cc	0.9	0.7	1
Limite liquido (%)	18.6	17.7	17.7
Limite plástico (%)	NP	17	27.3
Índice de plasticidad	NP	0.7	NP
Clasificación SUCS	GP-GM	GP-GM	GW-GM
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Ensayo de Próctor Modificado (compactación)

Es importante conocer la compactación de un suelo para determinar su densidad seca máxima en relación con su contenido de humedad a una energía de compactación determinada, así como el aumento de su resistencia y disminución de la capacidad de deformación.

Se puede obtener la máxima densidad seca, así como el contenido de humedad óptima de cada muestra, valores que se usaran para el análisis de CBR de cada muestra.

Para realizar dicho ensayo se basó en la norma MTC E-115 “Compactación de Suelos en laboratorio utilizando Energía Modificada”.

Los datos y cálculos realizados se encuentran en el Anexo 4.2.

Tabla N°4.5. Resumen de resultados Próctor Modificado

Calicata	Muestra	Contenido de humedad óptimo (%)	Máxima densidad Seca (gr/cm ³)
C-1	Subrasante	10.90	1.808
	Subbase Granular	9.64	1.936
	Base Granular	8.80	2.128
C-2	Subrasante	8.95	1.852
	Subbase Granular	9.85	1.830
	Base Granular	6.42	2.168
C-3	Subrasante	10.92	1.868
	Subbase Granular	8.82	2.019
	Base Granular	7.00	2.164

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

El CBR es un índice de Resistencia de suelos, se usa para evaluar la resistencia potencial al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma MTC E-132 “CBR de suelos (laboratorio)”.

Los datos y gráficos se encuentran en el Anexo 4.3

Tabla N°4.6: Resumen de Ensayo CBR

Calicata	Muestra	CBR al 95% M.D.S.	CBR al 100% M.D.S.
C-1	Subrasante	20 %	42%
	Subbase Granular	-	78%
	Base Granular	-	97%
C-2	Subrasante	28%	47%
	Subbase Granular	-	68%
	Base Granular	-	102%
C-3	Subrasante	36%	43%
	Subbase Granular	-	82%
	Base Granular	-	100%

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Lavado Asfáltico

Este ensayo nos permite la determinación cuantitativa del asfalto, es decir el contenido de asfalto presente en la mezcla asfáltica, dicho valor se expresa como porcentaje en peso; así como los agregados obtenidos pueden emplearse para un análisis granulométrico

Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma MTC E-502 “Extracción Cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos”.

Los datos y gráficos se encuentran en el Anexo 4.4

Tabla N°4.7. Contenido de asfalto

Descripción	Unidad	Muestra
Peso de la tara	gr.	-
Peso de la muestra + tara	gr.	1110.0
Peso de muestra centrifugada + tara	gr.	1033.1
Peso de asfalto	gr.	76.9
Peso de muestra	gr.	1110.0
Peso de agregado centrifugado	gr.	1033.1
Porcentaje de asfalto	%	6.9

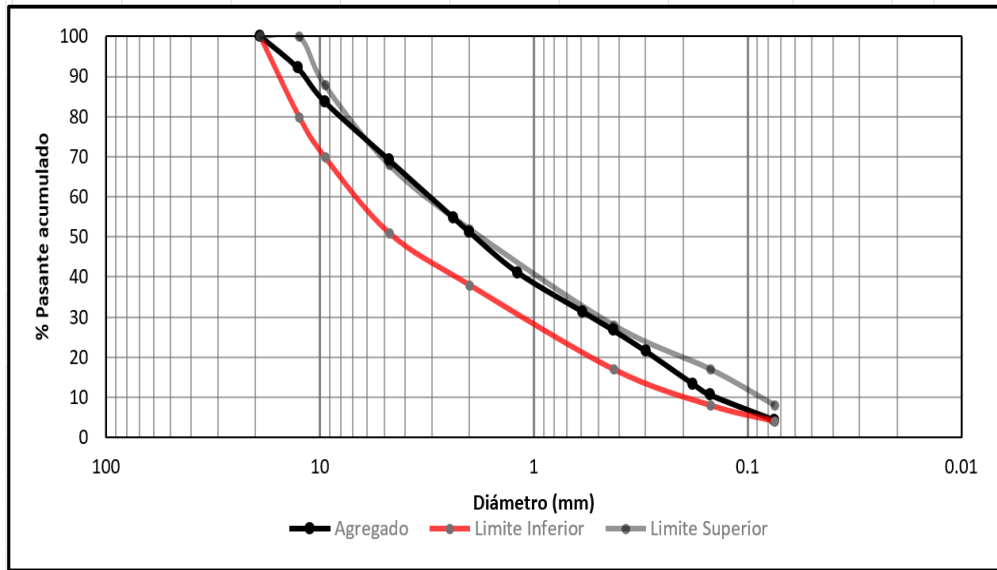
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.8. Granulometría del agregado del Asfalto

Tamiz	Diámetro (mm)	W. ret (g)	%W. ret	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
3/4"	19.100				100.0
1/2"	12.700	80.6	7.9	7.9	92.1
3/8"	9.520	86.2	8.4	16.3	83.7
N°4	4.760	149.3	14.6	30.8	69.2
N°8	2.380	147.7	14.4	45.2	54.8
N°10	2.000	36.7	3.6	48.8	51.2
N°16	1.190	103.6	10.1	58.9	41.1
N°30	0.590	100.2	9.8	68.7	31.3
N°40	0.425	48.0	4.7	73.3	26.7
N°50	0.300	52.4	5.1	78.5	21.5
N°80	0.180	84.4	8.2	86.7	13.3
N°100	0.150	28.0	2.7	89.4	10.6
N°200	0.075	64.7	6.3	95.7	4.3
Fondo		43.9	4.3	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Grafico N°4.1. Curva Granulométrica del agregado de Asfalto



Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Ensayos de caracterización de agregados

Los siguientes ensayos se realizaron para la Base granular y subbase granular, y algunos para la subrasante siendo estos ensayos; estos ensayos se encuentran en el anexo 4.5

4.2.7.1. Gravedad Específica

Para la gravedad específica del suelo se realizó mediante el “Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua” (MTC E 113) para el material pasante de la malla N° 4 aplicando el método B para especímenes secados al horno y el ensayo de “Peso específico y Absorción de agregados gruesos” (MTC E 206) para el material retenido en la malla N° 4.

Para la obtención de la gravedad específica promedio respecto del fino y del grueso, se utilizó la siguiente fórmula:

$$G_{avg@20^{\circ}C} = \frac{1}{\frac{R}{100 * G_{1@20^{\circ}C}} + \frac{P}{100 * G_{2@20^{\circ}C}}}$$

Donde:

R: Porcentaje de suelo retenido en la malla N° 4 (4.75mm)

P: Porcentaje de suelo pasante de la malla N° 4 (4,75mm)

$G_{1@20^{\circ}\text{C}}$: Peso específico del suelo retenido en la malla N°4 corregido a 20°C por el método de ensayo ASTM C 127 (MTC E 206)

$G_{2@20^{\circ}\text{C}}$: Peso específico del suelo pasante en la malla N°4 corregido a 20°C

En la siguiente tabla se muestran los valores de gravedad específica (GS) obtenidos:

Tabla N°4.9. Resumen ensayo gravedad específica

	Subrasante		Subbase		Base	
	SR-2	SR-3	SB-2	SB-3	B-2	B-3
G1	2.485	2.503	2.490	2.417	2.593	2.526
R (%)	77.1	80.2	76.6	50.5	47.2	48
G2	2.205	2.293	2.163	2.334	2.447	2.287
P (%)	22.9	19.8	23.4	49.5	52.8	52
G_{avg}	2.415	2.458	2.405	2.375	2.513	2.396

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.2. Equivalente de Arena

El ensayo hace referencia a la cantidad relativa de material arcilloso y polvo presente en suelos granulares y agregados finos.

Tabla N°4.10. Resumen equivalente de Arena

	Equivalente de Arena	
	Capa	Req. (mínimo)
Subbase	73	25
Base	79	35

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.3. Caras fracturadas

El ensayo proporciona el porcentaje, peso o cantidad de partículas con 1 o 2 caras fracturadas del total de muestra ensayada. Considerándose la cara fracturada cuando esta represente más del 25% de la sección transversal mayor de cada partícula. Los resultados se presentan en la Tabla N°4.11.

Se realizó de acuerdo al ensayo MTC E 210 “Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de Partículas fracturadas en el agregado grueso”

Tabla N°4.11. Resumen ensayo Caras Fracturadas

Material	Porcentaje (%)
Material de Base	
1 Cara fracturada	81
2 Caras fracturadas	58
Material de Base	
1 Cara fracturada	81
2 Caras fracturadas	60

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.4. Durabilidad al sulfato de magnesio

Este ensayo proporciona la alterabilidad de los agregados sometidos al intemperismo tomando medida de la desintegración de los mismos ante la solución de sulfato de magnesio. En la Tabla N°4.12 se ven los resultados del suelo de base.

Tabla N°4.12. Resumen ensayo Durabilidad al sulfato de magnesio

Malla Pasante	Malla retenida	Porcentaje de pérdida pesado
Agregado Grueso		
1 1/2"	1"	0.48
1"	3/4"	0.70
3/4"	1/2"	0.90
1/2"	3/8"	0.60
		2.68
Agregado Fino		
4	8	2.35
8	16	1.33
16	30	0.94
30	50	0.92
		5.54

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.5. Sales solubles

Este ensayo determina el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos. La presencia de los cloruros se detecta con la utilización de nitrato de plata, mientras que los sulfatos mediante cloruro de

bario. En la Tabla N°4.13 se muestran los resultados a muestras de base y subbase.

Tabla N°4.13. Resumen ensayo Sales solubles

Material	%
Material de base	
Arena	0.08
Piedra	0.06
Material de subbase	
Arena	0.07
Piedra	0.06

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.6. Abrasión de los Ángeles

El ensayo proporciona una medida de la degradación de los agregados gruesos ante la abrasión, el desgaste, el impacto y trituración mediante el choque con un número determinado de esferas de acero en un tambor cilíndrico. Se ha seguido la norma MTC E 207 “Abrasión de los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 1 ½”.

En la Tabla N°4.14 se encuentran los resultados del ensayo a los materiales de suelo de base y subbase.

Tabla N°4.14. Resumen ensayo Abrasión de los Ángeles

Material	Abrasión (%)
Piedra Suelo de Base	19.4
Piedra Suelo de Subbase	22.7

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de los ensayos de caracterización de agregados, podemos verificar si cumplen los requisitos de calidad de acuerdo al manual MTC “Especificaciones Técnicas Generales para construcción-EG-2013” en la sección N°402 y 403, para subbase granular y base granular respectivamente, podemos concluir que ambos materiales cumplen con los requisitos.

Tabla N°4. 15. Requisitos de Calidad para subbase granular

	Material	Valor de ensayo	Req. (mínimo)	Req. (máximo)
Abrasión los Ángeles	Subbase	22.70 %	-	50 %
Límite Líquido	Subbase	19.2 %	-	25 %
Índice de plasticidad	Subbase	NP	-	6 %
Equivalente de Arena	Subbase	73	25	-
Sales Solubles	Subbase-Arena	0.07 %	-	1.00 %
	Subbase-Piedra	0.06 %	-	1.00 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4. 16. Requisitos de calidad para base granular

	Material	Valor de ensayo	Req. (mínimo)	Req. (máximo)
Abrasión los Ángeles	Base	19.40 %	-	40 %
Índice de plasticidad	Base (Agr. F)	NP	-	4 %
Equivalente de Arena	Base	79 %	35	-
1 Cara Fracturada	Base (Agr. G)	81 %	80 %	-
2 Caras fracturadas	Base (Agr. G)	58 %	40 %	-
Durabilidad al sulfato de Magnesio	Base (Agr. F)	2.68 %	-	15 %
	Base (Agr. G)	5.54 %	-	18 %
Sales Solubles	Base-Arena	0.08 %	-	0.50 %
	Base-Piedra	0.06 %	-	0.50 %

Fuente: Elaboración propia

4.3. ENSAYO NO DESTRUCTIVO DEL PAVIMENTO

Como su nombre lo dice son ensayos que se realiza a la estructura del pavimento que no causan ningún daño, es decir no hay necesidad de intervenir la vía y poseen una gran factibilidad de ejecución.

Con propósito de tesis se realizará los siguientes ensayos no destructivos al pavimento de la Av. Trinidad Moran Carril Derecho.

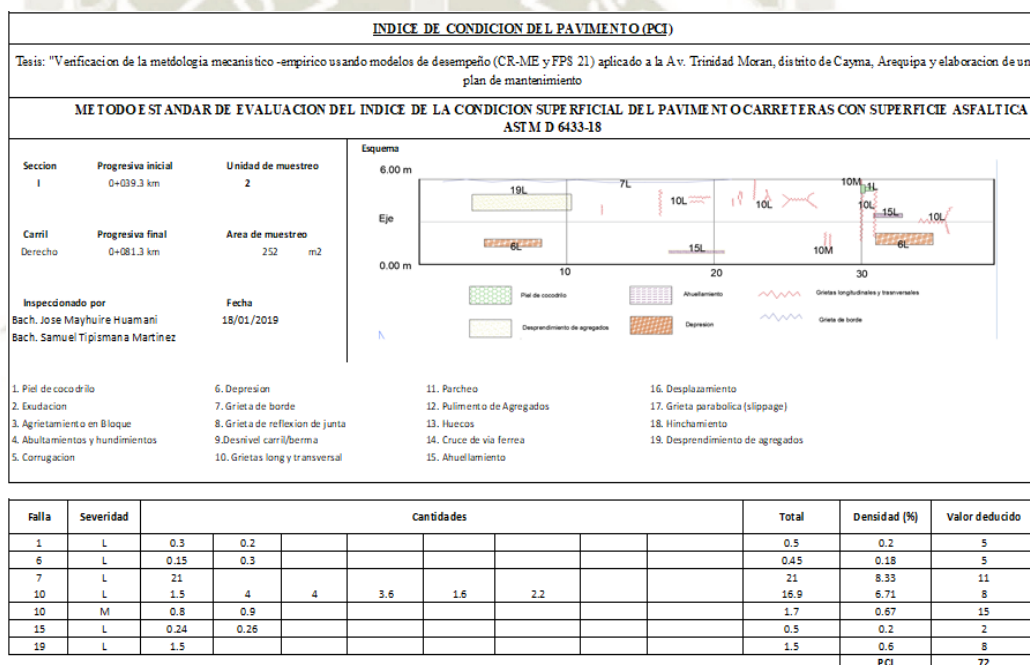
4.3.1. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Para realizar la evaluación de PCI de la vía, se utilizó como referencia la norma ASTM D6433-18. y la hoja de campo de la Imagen N°2.9, la cual nos identifica las diferentes fallas y definen su severidad.

El ancho de carril de nuestra vía en casi su totalidad es de 6.00 m, según la Tabla N°2.9 para un ancho de 6.00 debe tener una longitud de 38.30m, por lo cual se obtendrá un total de **11 unidades de muestreo** que completa el total de la vía.

En la Imagen N°4.3, se observa el formato de calificación para cada unidad de muestreo realizado para la evaluación de condición de la vía.

Imagen N°4.3. Formato de calificación para unidad de muestreo



Fuente: Elaboración propia

Las inspecciones por unidad de muestreo se encuentran en el Anexo N° 4.6.

En la Tabla N°4.17 podemos observar los valores de PCI por cada unidad de muestreo y el PCI total de la vía, en la Tabla N°4.18 el resumen total de todas las fallas medidas en toda la vía.

Tabla N°4.17. Resumen de valores de PCI

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18								
RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO								
Tramo Av. Trinidad Moran Carril derecho								
N°	Área (m2)	Unidad de muestreo	Progresiva (km)		m	Máximo VDC	PCI	Clasificación
			Inicial	Final				
1	316.4	001	0+000	0+039.3	9.27	13	87	Excelente
2	252	002	0+039.3	0+081.3	8.53	32	68	Bueno
3	234	003	0+081.3	0+120.3	7.34	56	44	Regular
4	234	004	0+120.3	0+159.3	7.97	50	50	Regular
5	234	005	0+159.3	0+198.3	7.52	31	69	Bueno
6	234	006	0+198.3	0+237.3	7.70	42	58	Bueno
7	228	007	0+237.3	0+275.3	7.52	35	65	bueno
8	234	008	0+275.3	0+314.3	7.61	40	60	Bueno
9	196.2	009	0+314.3	0+347	9.45	16	84	Excelente
10	227.4	010	0+347	0+384.9	7.24	46	54	Regular
11	225	011	0+384.9	0+422.4	7.43	58	42	Regular
PROMEDIO							62	Bueno

ESTADO DE VIA

EXCELENTE

MUY BUENO

BUENO

REGULAR

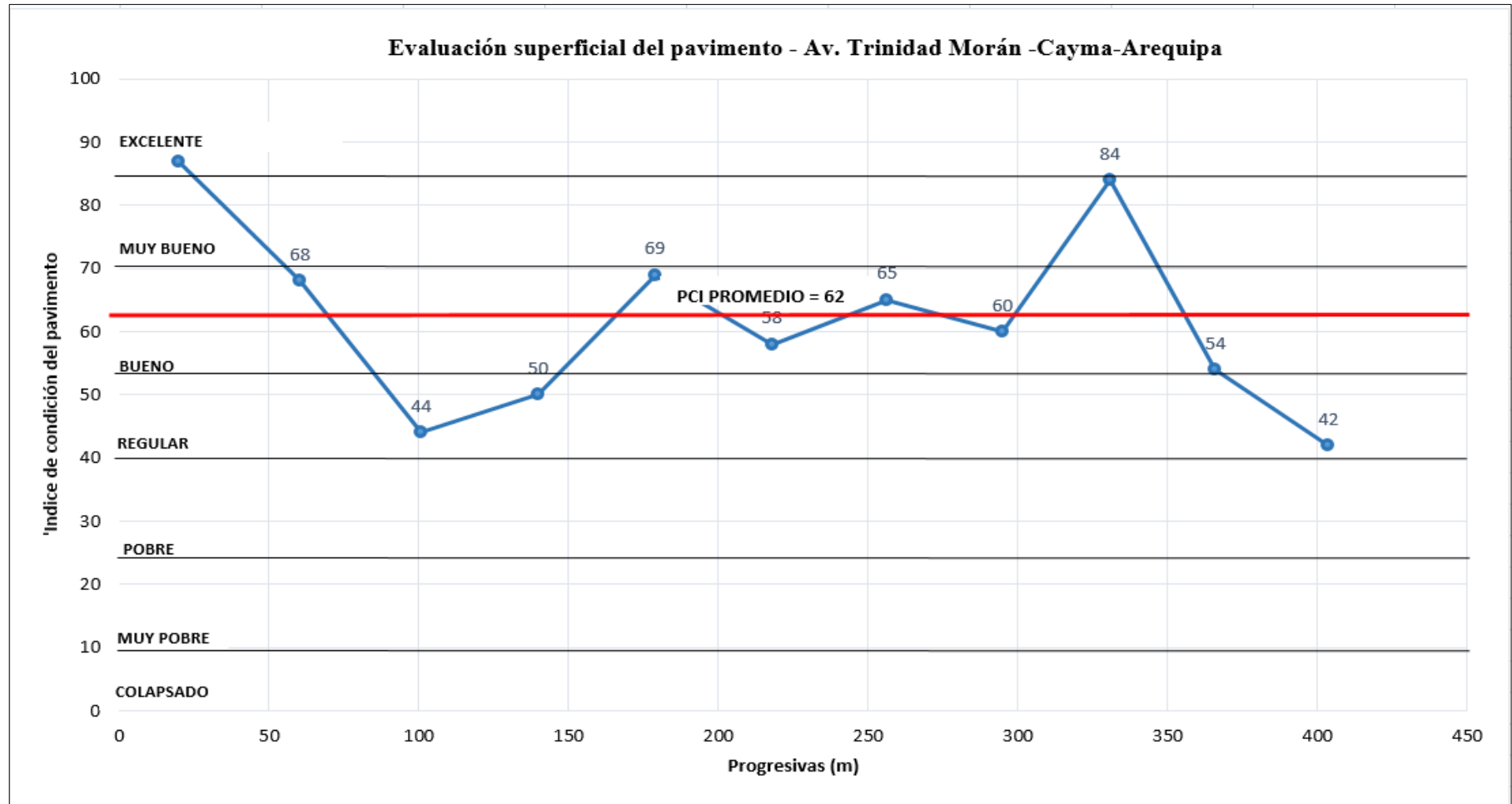
POBRE

MUY POBRE

INTRANSITABLE

Fuente: Elaboración propia

Grafico N°4.2. Perfil del índice de la condición del pavimento (PCI)



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.18: Resumen de metrado de fallas

	DETERIORO	Metrados			
		Unidad	Leve	Moderado	Severo
1	Piel de cocodrilo	m2	49.79	11.6	
2	Exudación	m2			
3	Agrietamiento en bloque	m2	1.6	16	
4	Abultamiento y hundimientos	m			
5	Corrugación	m2			
6	Depresión	m2	2.05		
7	Grieta de borde	ml	77.47		
8	Grieta de reflexión de junta	ml			
9	Desnivel carril/berma	ml	89.15		
10	Grietas long. Y transversal	ml	99.96	25.56	
11	Parqueo	m2	372.55	56.33	0.96
12	Pulimento de Agregados	m2			
13	Huecos	m2	0.01		
14	Cruce de Vía férrea	m2			
15	Ahuellamiento	m2	29.77		
16	Desplazamiento	m2			
17	Grieta parabólica	m2			
18	Hinchamiento	m2			
19	Desprendimiento de agregados	m2	25.02		

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Índice de rugosidad (Rugosímetro de MERLIN)

De acuerdo al ensayo de rugosidad con el rugosímetro de merlín para correlacionar con el valor de IRI, debemos obtener el valor del Rango D.

Para la vía estudiada se tuvo los siguientes datos de calibración:

Tabla N°4.19. Datos de calibración del rugosímetro MERLIN

Relación de brazo	1 a 10
Esp. Pastilla (mm)	6
Lectura inicial	25
Lectura final	12

Fuente: Elaboración propia

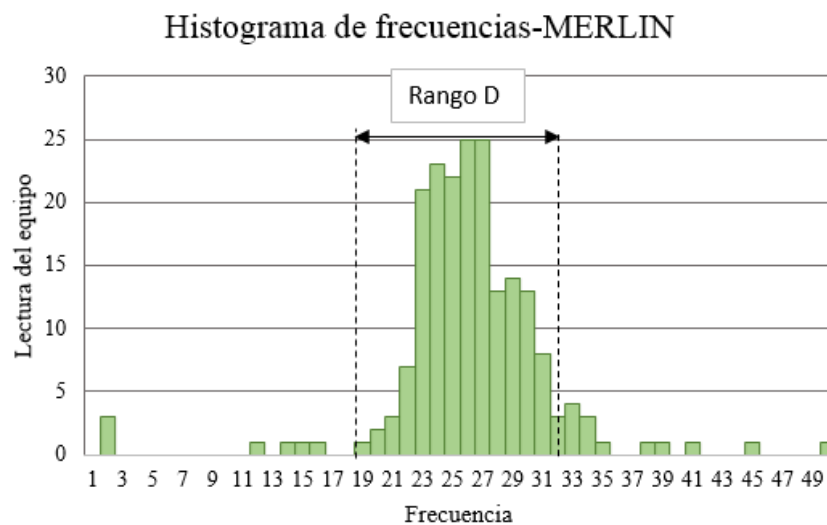
Para hallar el factor de corrección (FC), usaremos la Ec. 2.3:

$$FC = \frac{6 * 10}{(25 - 12) * 5}$$

$$FC = 0.923$$

El ensayo se realizó a ambos carriles del tramo de subida de la Av. Trinidad Morán, siendo el primer carril evaluado el carril izquierdo (junto a la berma central) el que presenta el valor IRI seleccionado de la vía (Tabla N°4.20) y del cual se obtuvo el histograma de frecuencias de la Grafico N°4.3 y el segundo valor el correspondiente al carril derecho (Tabla N°4.19)., el cual presentaba un parche longitudinal y resultados dispersos por lo que no tomamos en cuenta este último.

Grafico N°4.3: Histograma del Carril Izquierdo de subida



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al valor del rango D, por ser mayor a 50 mm utilizaremos la Ec.2.5 para el cálculo del IRI.

Tabla N°4.20. IRI Carril izquierdo

MERLIN 1 (junto a berma central)	
Rango	12.75
Rango D (mm)	63.75
Rango D corregido (mm)	58.85
IRI:	3.36

Tabla N°4.21. IRI Carril derecho

MERLIN 2 (carril derecho)	
Rango	16.42
Rango D (mm)	82.08
Rango D corregido	75.77
IRI:	4.16

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

5. EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA CON HWD

5.1. CUENCO DE DEFLEXIONES

El ensayo de deflectometría se realizó con el equipo Dynatest Heavy Weight Deflectometer 8082, en el mes de noviembre aproximadamente a las 11 de la mañana, se tomaron 5 puntos de medición a lo largo de la vía, por cada punto de medición se realizó 4 golpes teniendo en su totalidad 20 mediciones. Todas las mediciones realizadas se encuentran en micrones (μm). En la Tabla N°5.1 se muestra la información de las estaciones proporcionada por el equipo.

El equipo HWD permite tomar mediciones de temperatura tanto del aire como de la superficie del pavimento. En la Tabla N°5.2 se presenta las mediciones tomadas en campo.

En la presente tesis las mediciones, se obtuvieron configurado para aplicar una carga de 30-40 kN (FWD); esta carga es generada por la caída de dos masas sobre un plato circular de 300 mm de diámetro y simula el paso de la rueda de un vehículo pesado y es registrado por 9 geófonos situados en línea recta a separaciones del centro de 200, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500 y 1800 mm.

Como recomendación en el proceso de retrocálculo se utiliza principalmente los valores del último golpe por cada punto de medición debido ya que los golpes anteriores sirven como preparación de la estructura. Y antes de iniciar el proceso de obtención de los módulos, los cálculos los datos de deflexión obtenidos en el estudio de deflectometría, se corrigen por carga y por temperatura.

Tabla N°5.1. Información de la toma de datos

Station ID	Station (km)	Time	Latitude	Longitude	Height (m)
1	0	11:25	-16.3926472	-71.5489713	2350.055
2	0.1	11:26	-16.3917957	-71.5486137	2354.99
3	0.201	11:27	-16.390984	-71.548185	2356.279
4	0.293	11:28	-16.3902303	-71.5478349	2357.142
5	0.342	11:29	-16.3898289	-71.5476429	2355.749

Fuente: Equipo HWD de Dynatest

Tabla N°5.2. Mediciones tomadas por el equipo HWD

Station	Air Temp. °C	Surf Temp. °C	Drop	Esfuerzo (KPa)	D0 µm	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
1	27.8	22.8	1	450.00	303.60	245.50	194.80	140.90	109.60	64.10	53.40	39.80	38.20
			2	447.00	300.90	244.00	193.70	140.40	109.60	64.60	54.00	39.60	38.40
			3	615.00	401.00	329.10	265.80	197.10	156.10	93.40	76.10	59.20	54.90
			4	615.00	397.90	327.90	266.20	197.80	156.60	94.00	76.80	59.00	55.30
2	27.8	35.5	5	423.00	339.10	277.50	225.30	167.70	131.60	81.30	59.70	43.40	35.70
			6	436.00	324.60	269.00	220.60	166.80	133.70	85.00	62.30	44.70	36.00
			7	604.00	424.00	357.50	298.50	231.20	188.70	122.60	90.00	64.50	50.80
			8	603.00	421.50	354.90	296.80	229.90	187.60	122.20	90.30	65.10	52.10
3	28	43.3	9	414.00	358.90	285.80	228.30	170.70	134.30	87.00	59.70	46.60	36.20
			10	438.00	343.90	277.00	224.10	169.90	137.70	90.10	65.00	47.80	38.00
			11	607.00	429.70	349.10	287.80	221.80	183.40	122.20	88.70	65.40	50.70
			12	604.00	423.20	345.40	285.90	220.60	183.00	121.70	88.60	64.60	50.70
4	28.2	41.7	13	446.00	418.90	349.60	278.10	195.50	145.10	87.00	64.30	45.00	35.80
			14	436.00	384.50	323.70	260.00	185.20	140.00	85.60	64.60	45.70	37.80
			15	605.00	474.70	398.60	323.90	236.70	181.90	114.80	86.20	62.10	51.20
			16	604.00	470.60	395.30	322.30	236.50	182.80	116.00	87.50	63.50	52.60
5	28.2	37.1	17	445.00	450.30	376.30	299.50	209.10	146.60	84.80	58.10	48.00	37.80
			18	438.00	409.30	341.60	274.70	194.40	143.50	80.60	58.20	44.60	35.90
			19	608.00	527.20	442.20	360.30	262.70	197.20	114.60	84.20	64.00	52.10
			20	606.00	520.00	435.80	355.40	258.50	193.90	111.40	80.40	61.20	49.30

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Corrección por carga

En la última medición la carga determinada es 40 kN, teniendo en cuenta las cargas generadas y que la reacción al aplicar la carga no siempre es constante, es necesario realizar la corrección.

$$d_i = d_{io} \frac{P_r}{P_o} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

d_i = Deflexión del sensor i, corregida a la carga P_r .

d_{io} = Deflexión del sensor i, medida en campo con la carga de P_o

P_r = Carga a la cual se normaliza las mediciones, 40kN

P_o = Carga (en kN) aplicada en las mediciones de campo

Tabla N°5.3. Deflexiones corregidas por carga (40 KN)

Station	Esfuerzo	D0	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
1	566	366.4	301.9	245.1	182.1	144.2	86.6	70.7	54.3	50.9
2	566	395.6	333.1	278.6	215.8	176.1	114.7	84.7	61.1	48.9
3	566	396.6	323.7	267.9	206.7	171.5	114.1	83.0	60.5	47.5
4	566	441.3	370.7	302.2	221.8	171.4	108.8	82.0	59.5	49.3
5	566	485.3	406.7	331.7	241.3	181.0	104.0	75.0	57.1	46.0

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Corrección por temperatura

Existen distintas formas de obtener el factor de corrección por temperatura. por lo cual necesitamos el valor de la temperatura propia de la carpeta asfáltica.

Utilizaremos la correlación proporcionada por el instituto del Asfalto para obtener este valor.

$$M_p = M_a * \left(1 + \frac{1}{z + 4}\right) - \frac{34}{z + 4} + 6 \quad \text{Ec. 5. 2}$$

Donde:

M_p = Temperatura media de la mezcla en (°F)

M_a = Temperatura media ponderada del aire (°F)

z = Profundidad media de la capa, en nuestro caso 1.25plg

Tabla N°5.4. Temperatura del Asfalto

Station	z	Air Temp. °C	Air Temp. F	MP en °F	MP en °C
1	1.25	27.8	82.04	97.1905	36.22
2	1.25	27.8	82.04	97.1905	36.22
3	1.25	28	82.4	97.6190	36.46
4	1.25	28.2	82.76	98.0476	36.69
5	1.25	28.2	82.76	98.0476	36.69

Fuente: Elaboración propia

1) MÉTODO MOPT

En la vigésima Reunión del Asfalto, se presentó la siguiente ecuación:

$$Ft = \frac{1}{1 + (0.0008 \times h)(T - 20)} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Donde:

h: Espesor de la capa asfáltica en cm

T: Temperatura de la capa asfáltica en el momento de media la deflexión en °C

(Garnica, P., & Pérez, A. 2018).

Tabla N°5.5. Corrección por Temperatura MOPT

Station	T en °C	H (cm)	Ft
1	36.22	6.50	0.922
2	36.22	6.50	0.922
3	36.46	6.50	0.921
4	36.69	6.50	0.920
5	36.69	6.50	0.920

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5.6. Deflexiones corregidas por método MOPT

St	X1	x2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	D0	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
1	337.9	278.5	226.1	168.0	133.0	79.8	65.2	50.1	47.0
2	364.8	307.2	256.9	199.0	162.4	105.8	78.2	56.3	45.1
3	365.4	298.2	246.8	190.5	158.0	105.1	76.5	55.8	43.8
4	406.0	341.0	278.1	204.0	157.7	100.1	75.5	54.8	45.4
5	446.5	374.2	305.2	222.0	166.5	95.7	69.0	52.6	42.3

Fuente: Elaboración propia

2) METODO AASHTO

El método AASHTO según su Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993, propone la corrección por temperatura para propósitos de comparación del módulo efectivo de la estructura del pavimento. El ajuste de d_0 está basado en la relación de deflexiones según:

$$T(t) = \frac{d_0(68)}{d_0(t)} \quad \text{Ec. 5.4}$$

Donde:

$T(t)$: Factor de ajuste de temperatura.

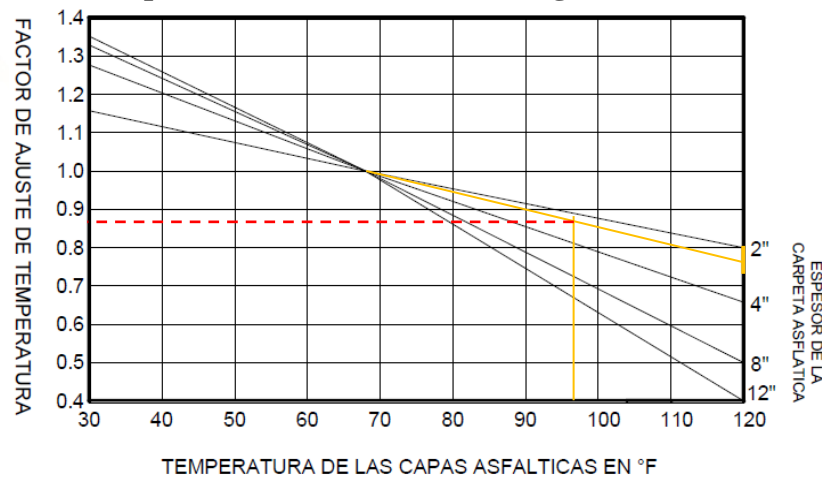
d_0 : d_0 a 68 °F (20°C)

$d_0(t)$: deflexión a la temperatura de evaluación t , en °F.

La metodología considera únicamente la corrección para la deflexión bajo la placa de carga d_0 tal como lo indica la guía AASHTO 93.

El factor de corrección de temperatura depende de la temperatura de la carpeta y el espesor de la misma, para carpetas con bases granulares y bases tratadas con asfalto obedece al Grafico N°5.1, además se muestra el factor de corrección escogido.

Grafico N°5.1. Coeficiente de ajuste por temperatura para pavimentos flexibles con base granular



Fuente: AASHTO 1993

Para el factor de corrección de 0.87, las deflexiones fueron corregidas solamente para las ubicadas debajo del centro del plato de carga.

Tabla N°5.7. Deflexiones corregidas por método AASHTO

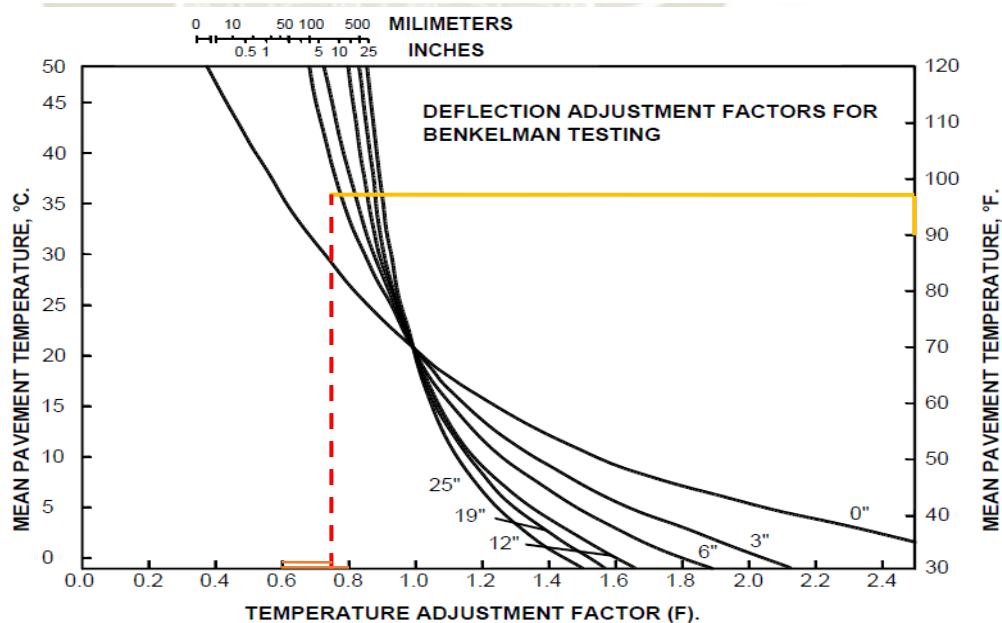
St	X1	x2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	D0	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
1	318.76	301.93	245.12	182.14	144.20	86.56	70.72	54.33	50.92
2	344.16	333.08	278.55	215.77	176.07	114.69	84.75	61.10	48.90
3	345.06	323.71	267.95	206.75	171.51	114.06	83.04	60.54	47.52
4	383.89	370.65	302.20	221.75	171.40	108.77	82.04	59.54	49.32
5	422.21	406.72	331.68	241.25	180.96	103.97	75.03	57.12	46.01

Fuente: Elaboración propia

3) METODO INSTITUTO DEL ASFALTO

El manual Asphalt Overlays for Highways and Street Rehabilitations del Instituto del asfalto en su capítulo IV de deflexión presenta una gráfica para el factor de corrección de temperatura. En esta gráfica se toma como temperatura de referencia 21 °C. Este método no menciona el radio de influencia para la corrección, por lo que se considera es para todos los sensores.

Grafico N°5.2. Factor de Ajuste según el instituto del Asfalto



Fuente: Garnica, Pérez

El resultado obtenido para la corrección fue de 0.75, este fue aplicado para todas las deflexiones como indica la Tabla N°5.8.

Tabla N°5.8. Deflexiones corregidas por el método del Instituto del Asfalto

St	X1	x2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	D0	D200	D300	D450	D600	D900	D1200	D1500	D1800
1	274.79	226.45	183.84	136.60	108.15	64.92	53.04	40.75	38.19
2	296.69	249.81	208.92	161.83	132.05	86.02	63.56	45.82	36.67
3	297.47	242.78	200.96	155.06	128.63	85.54	62.28	45.41	35.64
4	330.94	277.99	226.65	166.32	128.55	81.58	61.53	44.66	36.99
5	363.98	305.04	248.76	180.94	135.72	77.97	56.28	42.84	34.51

Fuente: Elaboración propia

Basados en la investigación “La influencia en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles”, la metodología MOPT corrige el cuenco de una manera aproximada a la cual el pavimento se comportaría a una temperatura de ensayo de 20°C. Dicho esto, las deflexiones utilizadas en el retrocálculo que realizaremos serán las corregidas por esta metodología.

5.1.3. Profundidad de capa rígida

Se realizó los gráficos semilogarítmicos para hallar la profundidad de la capa rígida según el método de Rohde & Scullion. Como el espesor de la carpeta asfáltica es aproximadamente 65mm en promedio, se utilizó la siguiente fórmula para determinar la profundidad de capa rígida (B):

$$\frac{1}{B} = 0.0065 + 0.1652 * (r_0) + 5.4290 * (r_0)^2 - 11.0026 * (r_0)^3 - 0.0004 * ICB \quad \text{Ec. 5.5}$$

$$IDB: D_{300} - D_{600} \quad \text{Ec. 5.6}$$

Se muestran los datos para deflexiones de las 5 estaciones sin corregir ni por temperatura ni por carga estándar en la Tabla N°5.9.

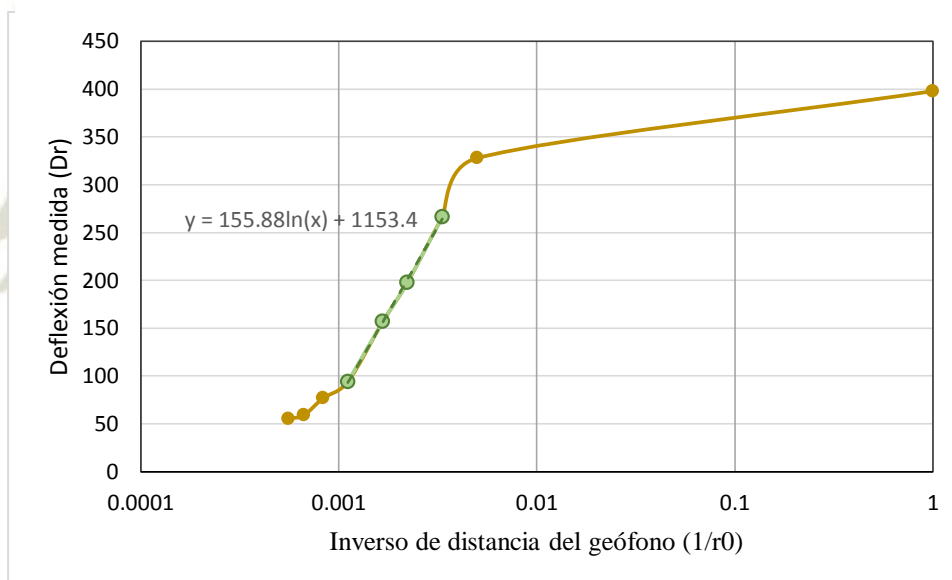
Tabla N°5.9. Datos para la profundidad de capa rígida

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
r (mm)	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800
1/r	1.0E+00	5.0E-03	3.3E-03	2.2E-03	1.7E-03	1.1E-03	8.3E-04	6.7E-04	5.6E-04
Deflexiones									
St 1	397.90	327.90	266.20	197.80	156.60	94.00	76.80	59.00	55.30
St 2	421.50	354.90	296.80	229.90	187.60	122.20	90.30	65.10	52.10
St 3	423.20	345.40	285.90	220.60	183.00	121.70	88.60	64.60	50.70
St 4	470.60	395.30	322.30	236.50	182.80	116.00	87.50	63.50	52.60
St 5	520.00	435.80	355.40	258.50	193.90	111.40	80.40	61.20	49.30

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la gráfica del inverso de la distancia del geófono vs la deflexión medida de la estación N° 1.

Gráfico N°5.3. Inverso de la distancia del geófono vs deflexión



Fuente: Elaboración propia

Para la porción lineal de la gráfica se hizo una regresión logarítmica para cada gráfico debido a que la escala horizontal está en dicha escala, con esto se pudo hallar la intersección en el eje X que es el inverso de la distancia a la cual las deflexiones son nulas (r_0) que fue convertida de unidades mm^{-1} a unidades pies^{-1} debido a que la fórmula así lo requiere. De igual manera la conversión del valor IDB, conocido como el Índice de Capa Media, de micras a milésimas de pulgada (mils).

Tabla N°5.10. Resultados para profundidad de Capa Rígida

St	IDB (D300-D600)		r0 (1/pies)	B	
	10 ⁻³ mm	mils		pies	metros
1	109.6	4.31	0.1864	6.54	1.99
2	109.2	4.30	0.1564	8.25	2.51
3	102.9	4.05	0.1494	8.77	2.67
4	139.5	5.49	0.1872	6.52	1.99
5	161.5	6.36	0.2086	5.72	1.74
			Promedio	7.16	2.18

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Módulo de la subrasante

Ajeno al uso del software para retrocálculo, se estimó el módulo de la subrasante mediante las siguientes metodologías tal como fueron detalladas en la sección 2.8.3:

a) Método de Yonapave:

Para el cálculo se trabajó con unidades del Sistema Internacional, tal como las fórmulas lo plantean.

$$E_0 = m * \left[\frac{p}{D_0} \right] * l_0^n \quad \text{Ec. 5.7}$$

$$l_0 = A * e^{B*Area} \quad \text{Ec. 5.8}$$

Donde:

E₀: Módulo de la subrasante (MPa)

p: Presión del plato de carga (kPa)

D₀: Deflexión máxima bajo el plato de carga (0.001 mm)

l₀: longitud característica del cuenco de deflexión (cm)

A, B, m, n: Coeficientes de ajuste. Tabla N°2.12

En la siguiente tabla se muestran los resultados de este método:

Tabla N°5.11. Datos y resultados del método de Yonapave

D ₀ (micras)	P (kPa)	Área	A	B	m	n	l ₀	E ₀ (MPa)
397.90	614.6	20.2	2.8000	0.1044	1277.60	-0.8867	23.0	122.4
421.50	602.9	21.5	3.6910	0.0948	1152.10	-0.8782	28.4	87.2
423.20	603.8	21.0	3.6910	0.0948	1152.10	-0.8782	27.1	90.7
470.60	603.5	20.4	2.8000	0.1044	1277.60	-0.8867	23.5	99.9
520.00	606.3	20.0	2.8000	0.1044	1277.60	-0.8867	22.5	94.2

Fuente: Elaboración propia

b) Método AASHTO 93

Como se mencionó en la sección 2.8.3, este método además de poder estimar el módulo de la subrasante, también nos permite hallar el módulo efectivo de toda la estructura del pavimento que refleja la capacidad estructural de todo el pavimento.

La ecuación para determinar el módulo de la subrasante es:

$$Mr = \frac{P(1 - \mu^2)}{\pi * d_r * r} \quad \text{Ec. 5. 9}$$

Donde:

- Mr: Módulo resiliente de la subrasante (psi)
- P: carga aplicada (lbf)
- d_r: Deflexión medida a una distancia r del centro de plato de carga (pulgadas)
- r: Distancia desde el centro del plato de carga (pulgadas).
- μ: módulo de poisson de la subrasante

Para este caso, asumimos un coeficiente de poisson de 0.4 para suelos finos, en contraste a que en suelos limosos o arcillosos se opta por un valor de 0.5.

Los cuencos de deflexiones usados fueron los corregidos por el método AASHTO que se encuentran en la Tabla N° 5.7, tal como lo requiere el método AASHTO que solo para la deflexión máxima sea corregida a 20°C.

Los datos utilizados se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla N°5. 12. Valores para la iteración del método AASHTO

Dato	Símbolo	Valor
Coef. Poisson []	μ	0.40
Carga aplicada (lbf)	P	8992.86
Radio del plato de carga (pulg)	a	5.9
Presión del plato de carga (psi)	p	82.23
Espesor total del pavimento (pulg)	D	14.5

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el ejemplo de iteración para la estación N° 1

Tabla N°5.13. Ejemplo de iteración para el cálculo del Mr de la subrasante

	Iteración	Geófono	r	ae (pulg)	0.7*ae	cumple	Mr(psi)	Ep (ksi)
St 1	1	3	11.81	25.2	17.64	no	21095.8	101.5
	2	4	17.72	25.8	18.06	no	18927	111
	3	5	23.622	27.7	19.39	si	17930	116.4
	4	6	35.433	26	18.2	si	19913	106.4
	5	7	47.244	27.4	19.18	si	18280	114.3
	6	8	59.055	26.7	18.69	si	19036	110.4

Fuente: Elaboración propia

Para el geófono 5 cumple con la distancia mínima para el cálculo del módulo resiliente, pero se ha tomado como resultado el obtenido el geófono 6 debido a que este de igual manera cumple, da resultados más conservadores y no está ubicado tan lejos como para que los resultados de subrasante y módulo efectivo del pavimento (E_p) sean erróneos.

A continuación, se muestran los resultados para las 5 estaciones, de las cuales todas cumplieron la distancia mínima al 5to geófono donde cumplía $r \geq 0.7*ae$, pero se tomó como resultado el 6to geófono como se explicó anteriormente.

Tabla N°5.14. Resultados de la metodología AASHTO para Mr de subrasante y Módulo efectivo del pavimento

Station	Mr SubR		Ep	
	ksi	MPa	ksi	MPa
1	19.91	137.28	106.4	733.61
2	15.03	103.63	118.1	814.27
3	15.11	104.18	116.8	805.31
4	15.85	109.28	91.5	630.87
5	16.6	114.45	74.3	512.28

Fuente: elaboración propia

c) Método Hogg de la FHWA

Para el cálculo mediante esta metodología se recurrió a las hojas de cálculo desarrolladas por FHWA-HRT-05-152: Guidelines for Review and Evaluation of Backcalculation Results. Tras la solicitud de las hojas, se recibió 2 hojas para cada sistema de unidades: SI e inglés.

A parte de los datos otorgados por el equipo HWD, este método trabaja con 3 casos según suposiciones para la subrasante. En nuestro caso hemos usado el caso II y III, que corresponde a una subrasante elástica finita con módulo de poisson de 0.4; y una capa elástica infinita respectivamente. Los resultados se muestran en la Tabla N°5.15.

Tabla N°5.15. Resultados método de Hogg

St	Drop Seq.	Plate Press. (kPa)	D0/2	Hogg M _R II (Mpa)	Hogg M _R III (Mpa)
1	4	615	198.95	83.33	111.96
2	4	603	210.75	68.77	91.24
3	4	604	211.60	72.65	96.99
4	4	604	235.30	68.31	91.64
5	4	606	260.00	62.83	84.42

Fuente: Elaboración Propia

El resumen de resultados de la estimación del módulo de la subrasante se muestra en la Tabla N°5.16.

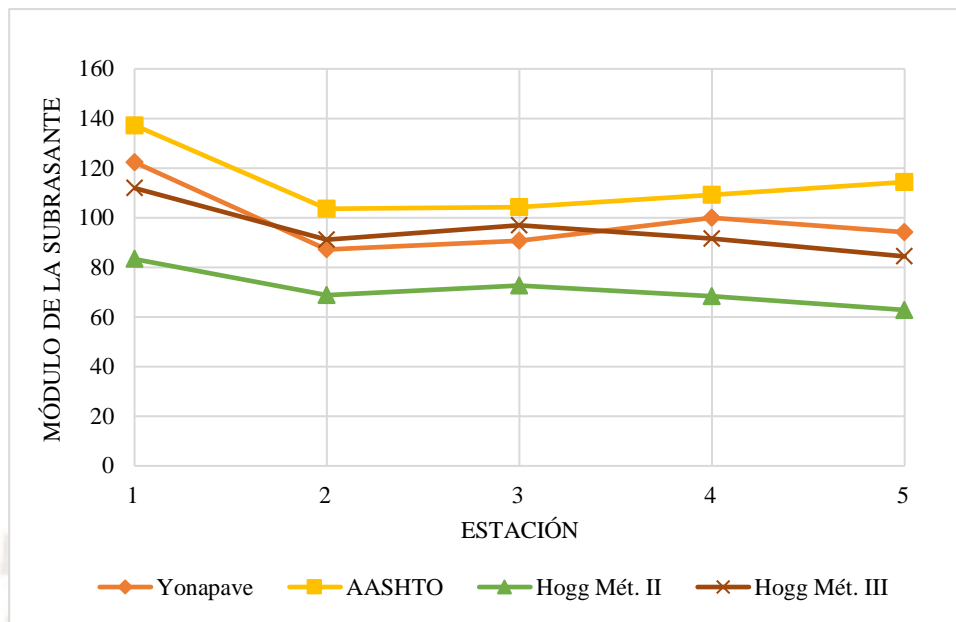
Tabla N°5.16. Resultados de la estimación del módulo de la subrasante

Station	Yonapave	AASHTO	Hogg-FHWA	
	E0 (MPa)	Mr (MPa)	Mét. II	Mét. III
1	122.4	137.28	83.33	111.96
2	87.2	103.63	68.77	91.24
3	90.7	104.18	72.65	96.99
4	99.9	109.28	68.31	91.64
5	94.2	114.45	62.83	84.42

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la gráfica siguiente para notar la diferencia de los resultados.

Grafico N°5.4. Comparativa de los resultados de estimación de Mr



Fuente: Elaboración propia

5.2. BACKCALCULATION (RETROCÁLCULO)

Para poder realizar el proceso de retrocálculo se utilizó el Software RUBICON TOOLBOX, programa que nos permite obtener los módulos de las capas que componen la estructura del pavimento.

Como observamos en la Tabla N°5.6, las deflexiones corregidas del equipo son los datos que utilizaran en el programa, usaremos la interfaz “backcalculation” propio del programa para obtener los valores de los módulos.

En la interfaz del programa solicita los espesores de cada capa en mm, y en la Subrasante usaremos el valor hallado en la profundidad rígida.

Tabla N°5.17.Espesores a utilizar en el software RUBICON

Capa	Espesor (mm)
Carpeta asfáltica	65
Base granular	150
Subbase granular	150
Subrasante	2000

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el proceso de retrocálculo es necesario tener módulos semilla o módulos de inicio, estos valores darnos una idea del rango de valores para cada capa

estructural, así como los valores obtenidos por correlaciones del CBR. No obstante, los módulos semilla no son los valores finales a utilizar.

Tabla N°5.18. Valores de módulo resiliente para materiales

MATERIAL	RANGO GENERAL (MPA)	VALOR TIPICO (MPA)
Concreto asfáltico	1000-4000	2500
base estabilizada con asfalto	700-3500	1700
Grava cemento	2000-7000	4000
Suelo cemento	350-700	500
Suelo cal	200-400	300
Base granular	140-280	210
Subbase granular	70-140	100
Subrasante granular	50-140	80
Subrasante fina	20-50	35

Fuente: INVIAS (2008)

Con los valores obtenidos por los CBR podemos usar fórmulas de correlación para obtener el módulo resiliente.

Usaremos la fórmula establecida por el MEPGD:

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64}$$

Ec. 5.10

Tabla N°5.19. Módulo resiliente CBR

Material	CBR %	Mr (psi)	Mr (Mpa)
Base	100	48684.52	335.67
Subbase	76	40842.43	281.60
Subrasante	24	19531.07	134.66

Fuente: Elaboración propia

Otro valor importante en el proceso del retrocálculo es el coeficiente de poisson, que es la relación de deformación lateral y deformación axial en probeta con carga axial.

Existen distintos valores típicos para la estructura del pavimento. En la Tabla N° 5.20, observamos valores de poisson por cada tipo de material.

Tabla N°5.20. Valores típicos de Poisson

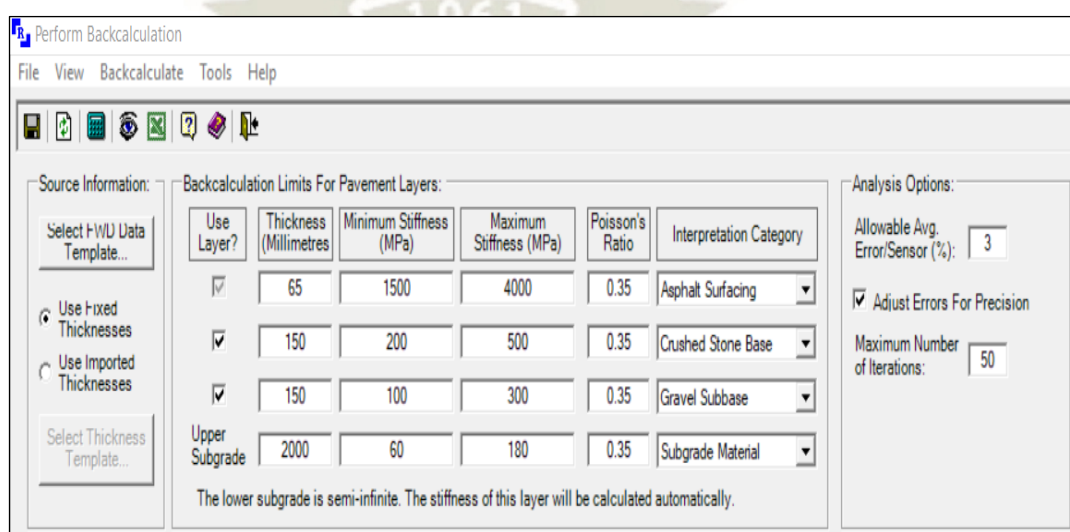
MATERIAL	RANGO	TÍPICO
Concreto hidráulico	0.10-0.20	0.15
Concreto asfáltico	0.15-0.45	0.35
Base tratada con asfalto	0.15-0.45	0.35
Base tratada con cemento		
Suelo granular	0.10-0.20	0.15
Suelo fino	0.15-0.35	0.25
Concreto pobre	0.10-0.20	0.15
Base y subbase granular	0.30-0.40	0.35
Suelo de subrasante	0.30-0.50	0.40

Fuente: Sánchez (2016)

En la Imagen N°5.1 vemos la interfaz del programa con los datos necesarios para poder realizar el proceso de retrocálculo, en la opción de análisis se distinguen dos opciones: Error de sensibilidad: se refiere al error media cuadrático (RMS) entre las deflexiones reales y deflexiones calculadas, esto permite ajustar los módulos resilientes en el análisis, conociendo con exactitud los errores por cada medición de los geófonos e interpretando los datos de cada capa estructural.

Numero de iteraciones: el número de iteraciones que realizara el programa para obtener los módulos resilientes.

Imagen N°5.1. Interfaz del programa RUBICON " BACKCALCULATION"



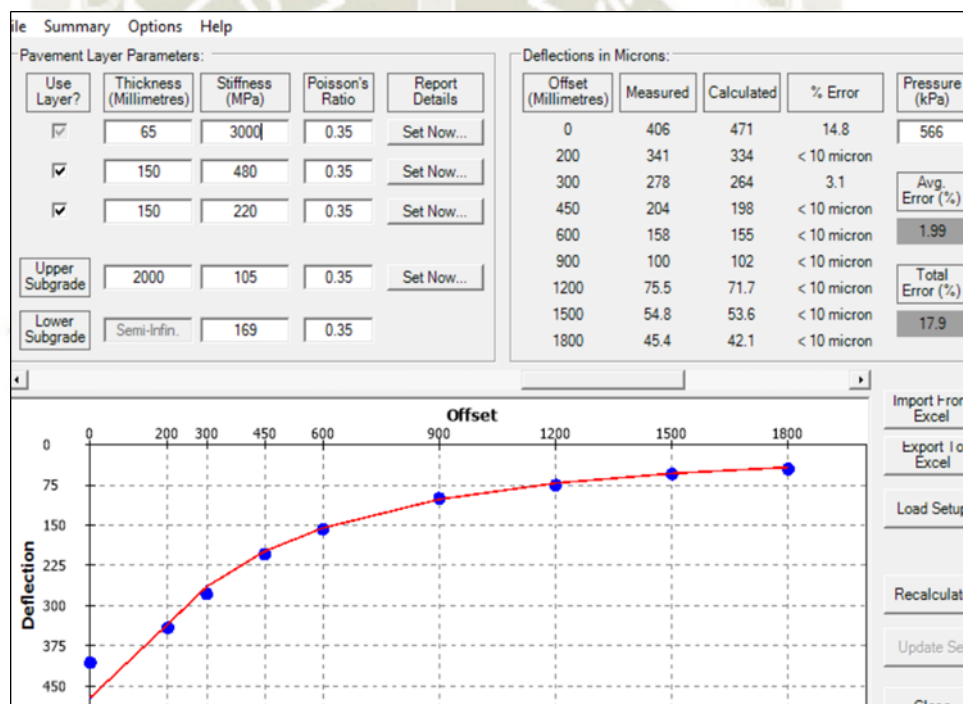
Fuente: Software Rubicon Toolbox

El programa realizara automáticamente el análisis con el cuenco deflexiones, en el cual se puede observar el real y el calculado de acuerdo a la estructura y módulos de capa del pavimento.

En la Imagen N°5.2, se puede observar la interfaz del análisis deflexiones que nos proporciona el software RUBICON TOOLBOX, se procedió a realizar un análisis por cada cuenco de deflexiones de cada estación.

El software permite ver las deflexiones calculadas y el error por cada geófono, al conocer estos valores podemos reajustar los módulos resiliente y recalcular las deflexiones.

Imagen N°5.2. Análisis del cuenco de deflexiones



Fuente: Software Rubicon Toolbox

Según Leal (2010), la adecuada convergencia o no de estos valores de deflexión puede ser determinada por medio del parámetro del error medio cuadrático (RMS). Se estima que al final de un correcto proceso de retrocálculo el valor del error medio cuadrático (RMS) deberá ser igual o inferior a un 2%.

De acuerdo al cuenco deflexiones obtenido por cada estación, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla N°5.21. Resultados Módulo resiliente (MPA)

Capa	Módulo resiliente en MPA por cada estación				
	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5
Carpeta	5800	5550	5950	5750	5650
Base	480	500	500	510	400
Subbase	320	315	320	250	220
Subrasante	135	115	120	105	96
RMS (%)	1.38	1.69	0.80	1.45	2.26

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Ajuste a los módulos de retrocálculo

Según Guzmán (2016), el ajuste de los módulos obtenidos por retrocálculo es imperativo para la implementación de los métodos de diseño de rehabilitación presentados en la Guía de Diseño de Pavimentos Mecánica-Empírica (MEPDG), así como en el tradicional método AASHTO 1993. Considerando que los modelos de desempeño en la MEPDG fueron calibrados usando datos de los módulos resilientes de los ensayos de laboratorio, es necesario convertir los módulos resilientes obtenidos con FWD a valores equivalentes de laboratorio.

Módulo de la carpeta

Los módulos retrocalculados deben ser ajustados al módulo esperado a determinada temperatura de referencia o característica de la sección de pavimento que está siendo analizada.

Existen distintas investigaciones para el factor de reajuste al módulo de la carpeta. Según Guzmán (2016) para realizar el reajuste del módulo existen distintas expresiones siendo las más confiables, los módulos retrocalculados por Lukanen, ELMOD y Baltzert y Jansen, las cuales aplican un factor corrector que se encuentran en un intervalo de confianza del 95% de media de los resultados, siendo la más confiable Lukanen.

La ecuación de Lukanen (2000) se presenta a continuación:

$$\frac{E_{ref}}{E_{ca}} = 10^{-0.0195 (T_{ref}-T_{ca})} \quad \text{Ec. 5.11}$$

Donde:

E_{ref} : Módulo del concreto asfáltico a la temperatura de referencia.

Eca: Módulo del concreto asfáltico retrocalculado.

Tref: Temperatura de referencia. (20°C)

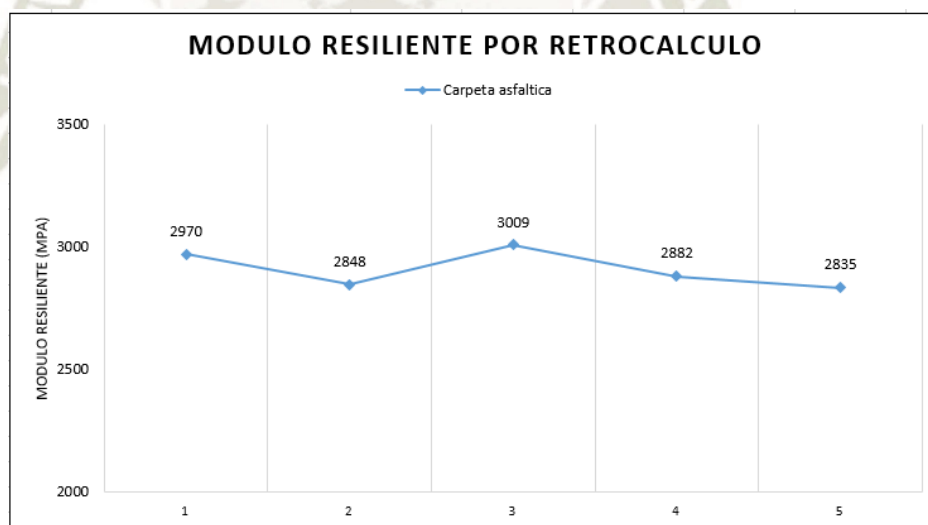
Tca: Temperatura de la capa concreto asfáltico.

Tabla N°5.22. Módulos corregidos de la carpeta asfáltica

Station	Tca (°C)	Tref (°C)	C	Eca (MPA)	Eref (MPA)	Eref prom (MPA)
1	36.22	20	0.48280	5800	2969.24	2740.00
2	36.22	20	0.48280	5550	2848.54	
3	36.46	20	0.47767	5950	3009.31	
4	36.69	20	0.47259	5750	2882.80	
5	36.69	20	0.47259	5650	2835.54	

Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5.5. Módulo de la carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Módulo resiliente de capas granulares

Si el módulo es determinado mediante el uso de técnicas de retrocálculo, este debe ser multiplicado por un factor de ajuste “C”, este factor ajusta el módulo retrocalculado a un valor equivalente medido en laboratorio.

Según la guía MEPGD 2015 nos da valores de ajuste por cada tipo de capa de base y subbase granular.

Tabla N°5. 23. Valores C para convertir valores del módulo resiliente calculado a un módulo resiliente equivalente de laboratorio

Tipo de Capa	Ubicación	Valor C o relación Mr/Efwd
Agregado de base y subbase	Entre una capa estabilizada y de HMA	1.43
	Debajo de una capa PCC	1.32
	Debajo de una capa HMA	0.62

Fuente: Guía AASHTO 2015

En la Tabla N°5.24 y Tabla N°5.25, los nuevos módulos para base y subbase de acuerdo al valor C serian:

Tabla N°5.24. Módulos corregidos para la base granular

Station	Módulo retrocálculo (MPA)	C	Módulo corregido	Módulo promedio
1	480	0.62	297.6	295
2	500	0.62	310	
3	510	0.62	316.2	
4	485	0.62	300.7	
5	400	0.62	248	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5.25. Módulos corregidos para subbase granular

Station	Módulo retrocálculo (MPA)	C	Módulo corregido	Módulo promedio
1	320	0.62	198.4	179
2	315	0.62	195.3	
3	320	0.62	198.4	
4	270	0.62	167.4	
5	220	0.62	136.4	

Fuente: Elaboración propia

Módulo resiliente de Subrasante

El Módulo Resiliente de la subrasante retrocalculado (Mrr) y el Módulo Resiliente medido en laboratorio (Mr) no son iguales por varias razones. La

principal razón es que las presiones de confinamiento uniforme y los esfuerzos verticales repetidos usados durante el ensayo en laboratorio, no simulan realmente el confinamiento y estado de esfuerzos a que se ve sometida la subrasante al ser solicitada por la carga del FWD o las ruedas de los vehículos. De acuerdo a la clasificación del suelo de la subrasante se puede obtener un valor C para ajustar el módulo de la subrasante (Baladi G. y Dawson T., 2009).

Tabla N°5.26. Factor de ajuste para suelos de subrasante de acuerdo con el tipo de suelo

Sistema de clasificación		Resultados de laboratorio		Resultados del retrocálculo		Factor de ajuste - C
SUCS	AASHTO	Número de ensayos	Mr promedio MPa	Número de ensayos	Mrr promedio MPa	
SP1	A-1-a	16	199	1499	190	0.96
	A-3					
SP2	A-1-b	10	176	563	172	0.98
	A-3					
SP-SM	A-1-b	8	145	364	140	0.96
	A-2-4					
	A-3					
SC-SM	A-2-4	7	160	1924	139	0.87
	A-4					
SC	A-2-6	16	129	1517	147	1.14
	A-6					
	A-7-6					
SM	A-2-4	17	117	370	170	1.45
	A-4					
CL	A-4	9	256	774	104	0.41
	A-6					
	A-7-6					
ML	A-4	4	169	23	110	0.65
Promedio						0.93

Fuente: G. Baladi and T. Dawsom (2009)

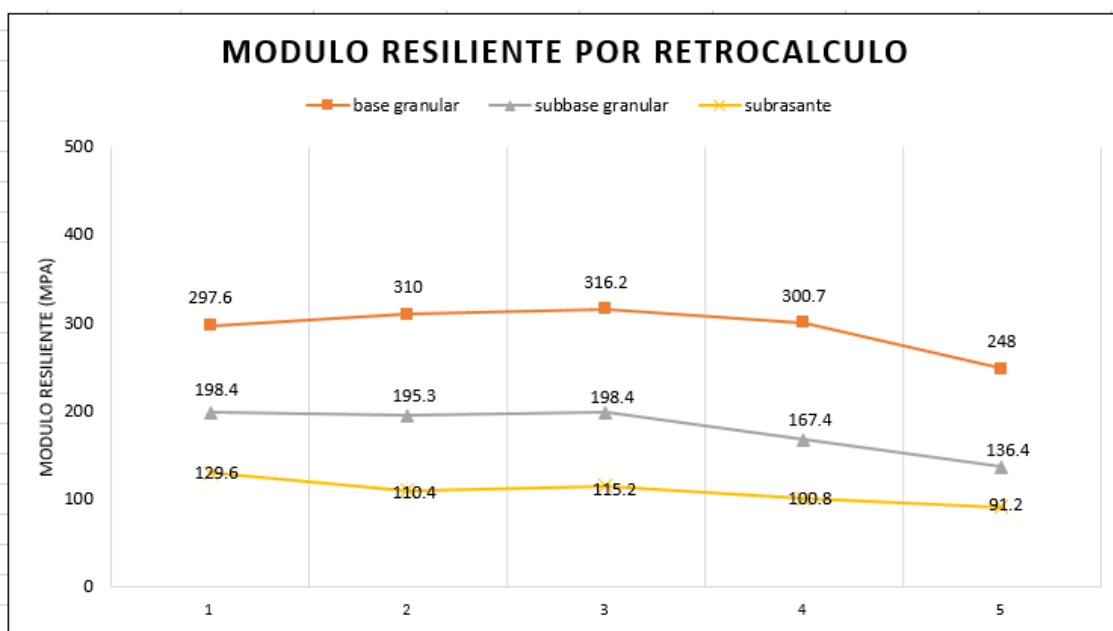
De acuerdo a la Tabla N°4.2 la subrasante tiene clasificación SUCS SP-SM; por lo cual el Factor de Ajuste C sería 0.96.

Tabla N°5.27. Módulos corregidos para subrasante

Station	Módulo retrocálculo (MPa)	C	Módulo corregido	Módulo promedio
1	135	0.96	129.6	109
2	115	0.96	110.4	
3	120	0.96	115.2	
4	105	0.96	100.8	
5	95	0.96	91.2	

Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 6. Módulos resilientes de las capas no ligadas



Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Comparación de los módulos resilientes

Mediante el cálculo de las deflexiones con el equipo de Deflectometría (HWD), se obtuvo los módulos de las capas del pavimento, podemos compararlo mediante los módulos obtenidos de la correlación del CBR y hallar el factor de ajuste. Para compararlos se usará el punto 2 del HWD y la calicata 2, debido a que se encuentran en una ubicación cercana.

Tabla N°5.28. Comparación de módulos resilientes

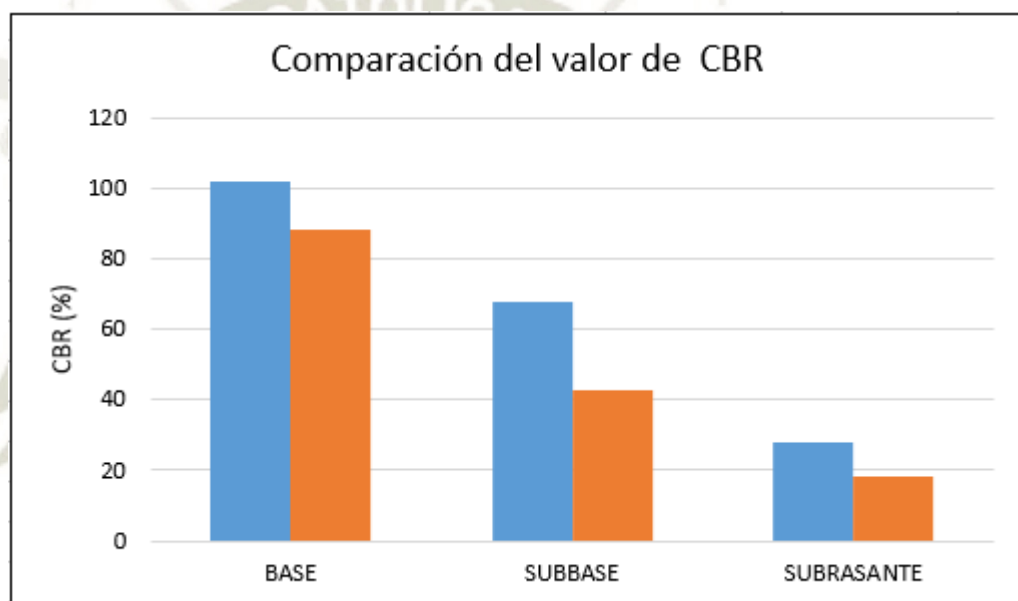
Descripción	Base	Subbase	Subrasante
Módulo retrocálculo (MPa)	500	315	115
Factor de Ajuste C (HWD)	0.62	0.62	0.96
Modulo final del retrocálculo (MPa)	310	195	110
CBR (%)	102	68	28
Módulo resiliente del CBR (MPa)	340	262	150
Factor de Ajuste C (CBR)	0.68	0.83	1.30
CBR del retrocálculo (%)	88	43	18

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla podemos observar que los valores de módulo resilientes usando la correlación por CBR, son en todos los casos mayores que los obtenidos por el retrocálculo; siendo en la subbase donde se muestra una mayor diferencia.

En las investigaciones sobre los factores de ajuste C para materiales granulares para el retrocálculo existe distintos valores siempre dando un valor de rango entre 0.60 hasta 1, por lo cual con el factor de ajuste C obtenido por CBR podemos decir que cumple con esta observación, en el caso de la subrasante puede tener valores mayores a 1.

Grafico N°5. 7. Comparación de los valores de CBR de laboratorio y retrocálculo



Fuente: Elaboración propia

5.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA

La evaluación estructural permite conocer detalladamente el comportamiento de las diferentes capas de un pavimento. Los parámetros que se obtienen mediante esta evaluación son, las deflexiones que experimenta la superficie del pavimento al ser sometido al efecto de una carga mediante el deflectómetro de impacto.

5.3.1. Número estructural

El Número estructural (SN) es un índice que proporciona una indicación de la resistencia de las capas del pavimento y de la estructura total del pavimento.

Existen varias aproximaciones para la estimación de la capacidad estructural de un pavimento asfáltico en servicio a partir de las deflexiones FWD.

5.3.1.1. Determinación del SN_{eff} según la guía AASHTO-93

De acuerdo a la guía AASHTO 93, el SN_{eff} está en función de la siguiente ecuación.

$$SN_{eff} = 0.0045 * H_t (E_p)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 5. 12}$$

Donde:

Ht: Espesor total del pavimento en pulgadas

Ep: Módulo efectivo en lb/plg²

El valor del módulo efectivo se calculó en la Tabla N°5.16. Resultados de la estimación del módulo de la subrasante.

Tabla N°5.29. Número estructural por método AASHTO 93

Station	Mr SubR(psi)	Ep (ksi)	Ht	SN
1	19913	106.4	14.5	3.091
2	15029	118.1	14.5	3.201
3	15112	116.8	14.5	3.189
4	15847	91.5	14.5	2.940
5	16579	74.3	14.5	2.743

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.2. Determinación del SN_{eff} según el método de Rohde

Esta metodología es basada mediante la idea de que la deflexión máxima medida en el ensayo FWD (D0), es una combinación de la deflexión que ocurre en la subrasante y la compresión elástica de la estructura de pavimento. Dadas investigaciones realizadas por varios autores, se dice que el 95% de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento inician bajo una línea con una desviación de 34° medidas desde una línea horizontal. (Rohde, 1994)

$$SN_{eff} = k_1 * SIP^{k2} * H_t^{k3} \quad \text{Ec. 5. 13}$$

Donde:

Ht : Espesor total del pavimento (milímetros)

SIP : Índice estructural del pavimento = $D_0 - D_{1.5 * Ht}$

K1,k2,k3 : Coeficientes depende del tipo de capa.

Tabla N°5.30. Coeficientes de fórmula de Rohde

Tipo de superficie	K ₁	K ₂	K ₃
Tratamiento superficial	0.1165	-0.3248	0.8241
Concreto asfaltico	0.4728	-0.4810	0.7581

Fuente: INVIAS (2008)

Tabla N°5.31. Numero estructural por el método de Rohde

	D0	D547.5	SIP	HT	SN eff
St 1	318.76	160.00	158.76	365	3.62
St 2	344.16	180.00	164.16	365	3.56
St 3	345.06	180.00	165.06	365	3.55
St 4	383.89	180.00	203.89	365	3.21
St 5	422.21	190.00	232.21	365	3.01

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.3. Determinación del SN_{eff} según el método YONAPAVE

El desarrollo del método YONAPAVE contiene una expresión para la estimación del número estructural a partir de las deflexiones del FWD, la cual presenta como novedad, respecto de las anteriores, el hecho de no requerir el conocimiento del espesor de la estructura de pavimento que se evalúa. La ecuación es la siguiente:

$$SN_{eff} = 0.0364 * I_o * (E_o)^{\frac{1}{3}} - 0.5 \quad \text{Ec. 5. 14}$$

Los valores de I_o y E_o fueron hallados en la Tabla N°5.11. Datos y resultados del método de Yonapave.

Tabla N°5.32. Numero estructural por método Yonapave

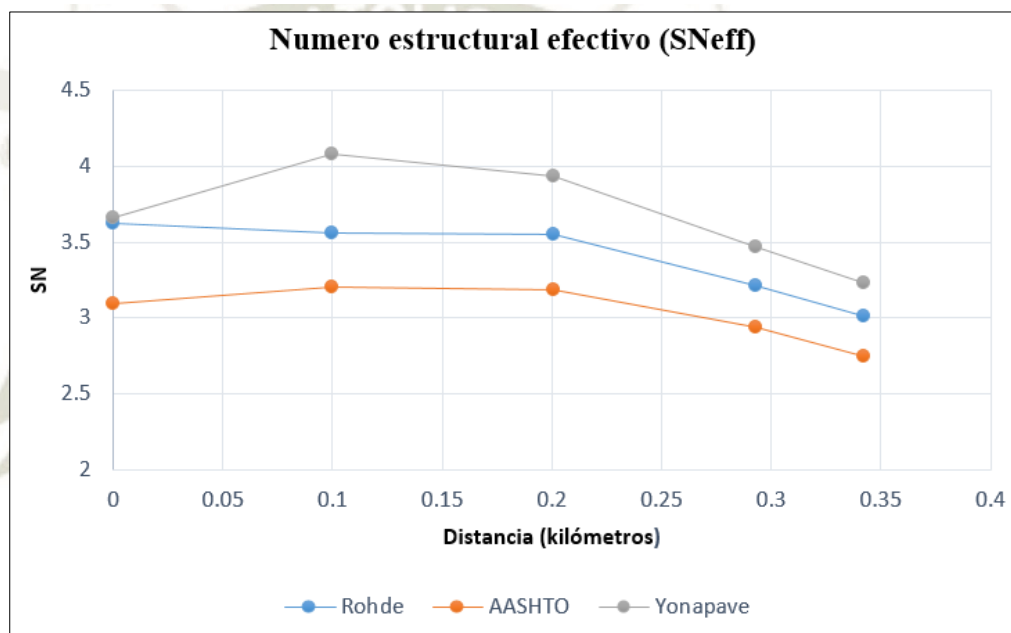
D ₀ (micras)	P (kPa)	Area	I ₀	E ₀ (MPa)	SN eff
397.90	614.6	20.2	23.0	122.4	3.66
421.50	602.9	21.5	28.4	87.2	4.08
423.20	603.8	21	27.1	90.7	3.93
470.60	603.5	20.4	23.5	99.9	3.47
520.00	606.3	20	22.5	94.2	3.23

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.4. Comparación del SN_{eff} según los 3 métodos

De acuerdo a los valores obtenidos del número estructural por cada método se puede realizar un gráfico para observar la variación de resultados, en la cual observamos que el valor de la metodología AASHTO presenta los menores valores mientras que Yonapave presenta los valores más altos, a la vez podemos observar que en la parte final del tramo es donde existe menor capacidad estructural.

Grafico N°5.8. Comparación de los valores de SN_{eff}



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI

6. ESTUDIO DE TRÁNSITO

6.1. Determinación del carril de máxima demanda

El proyecto “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de las avenidas trinidad moran, Cayma, Bolognesi, Miguel Grau en la zona baja y media, distrito de Cayma-Arequipa”, abarca las principales vías de Cayma. En el expediente técnico menciona las vías con mayor tránsito las cuales son la Av. Trinidad Morán y Av. Cayma.

Se realizó un estudio de tránsito en las avenidas Trinidad Morán y Cayma para poder analizar cuál de estas avenidas tiene mayor tránsito para poder elegir la vía y carril a evaluar y/o analizar para la presente tesis.

El presente estudio se realizó en 3 días de la semana los cuales fueron: lunes, viernes y sábado; en dos turnos mañana y tarde de una hora de conteo para ambos carriles de las avenidas. Se ubicó en dos estaciones para el estudio de tránsito.

Imagen N° 6.1. Ubicación de estaciones Av. Trinidad Morán y Av. Cayma



Fuente: Google Earth

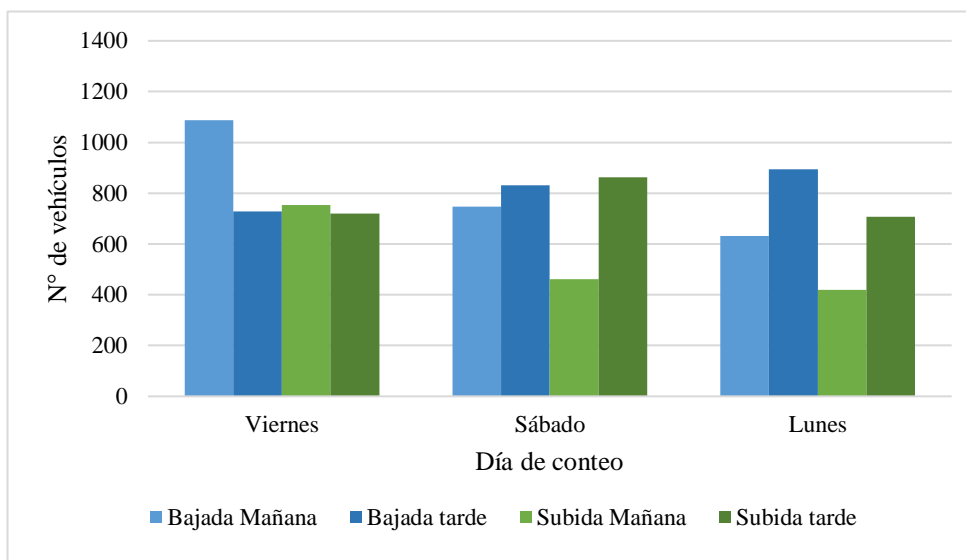
Tabla N° 6.1. Conteo Vehicular de Av. Trinidad Morán y Av. Cayma.

VEHICULO	Av. Cayma				Av. Trinidad Moran			
	Carril Subida		Carril bajada		Carril Subida	Carril bajada	Carril Subida	Carril bajada
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Autos	1040	1560	1820	1750	2147	2502	2033	2415
Pick Up	234	427	250	302	370	310	620	302
Combi Rural	181	123	153	142	192	104	165	125
Micro	128	148	141	158	163	190	170	150
Bus 2E	-	-	-	-	20	5	6	1
Bus 3E	-	-	-	-	15	1	-	-
Camión 2E	3	4	-	-	16	10	4	8
Camión 3E	1	1	2	1	18	6	9	2
Camión 4E	-	-	-	-	1	-	2	-
Semi trayler 2s1/2s2	-	-	-	-	-	-	-	-
Semi trayler 2s3	-	-	1	-	-	-	-	-
Semi trayler 3s1/3s2	-	-	-	-	3	-	-	-
Semi trayler 3s3	-	-	-	-	1	-	-	1
Trayler 2T2	-	-	-	-	-	-	-	-
Trayler 2T3	-	-	-	-	-	-	-	-
Trayler 3T2	-	-	-	-	-	-	-	-
Trayler 3T3	-	-	-	-	10	8	2	-
TOTAL	1587	2263	2367	2353	2956	3136	3011	3004

Fuente: Elaboración propia

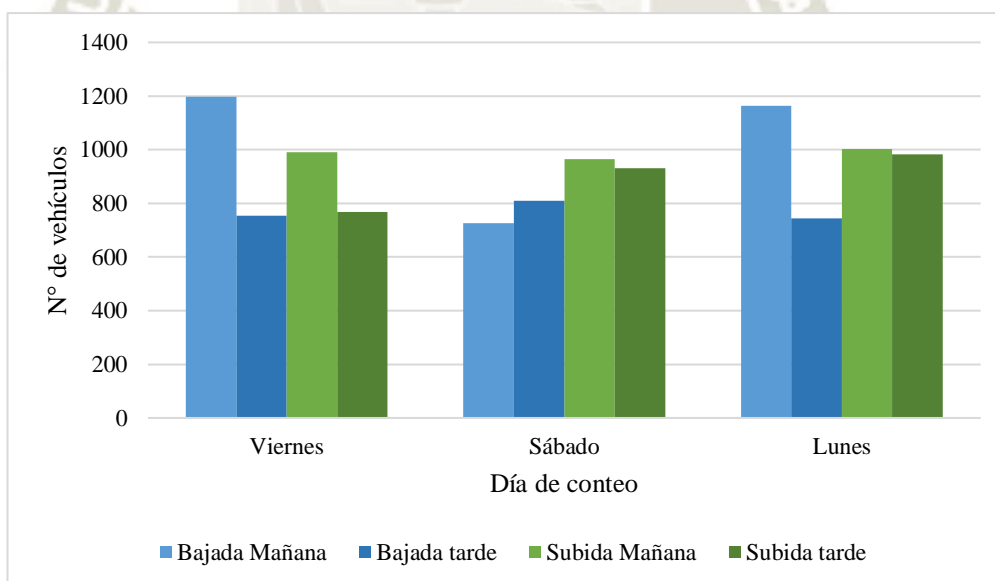
De acuerdo a los 3 días de conteo vehicular se puede obtener las siguientes gráficas:

Gráfico N° 6.1. Número de vehículos Av. Cayma



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6.2. Número de vehículos Av. Trinidad Morán



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al conteo se puede concluir que existe mayor tránsito de vehículos en la Av. Trinidad Moran a comparación de la Av. Cayma. En el caso de la Av. Trinidad Moran el carril de subida (Derecho) cuenta con mayor cantidad de vehículos pesados a comparación del carril de bajada, por lo cual con propósito de análisis de vía se estudiará el Carril derecho de la Av. Trinidad Moran.

6.2. TRÁNSITO

6.2.1. Volumen de tránsito

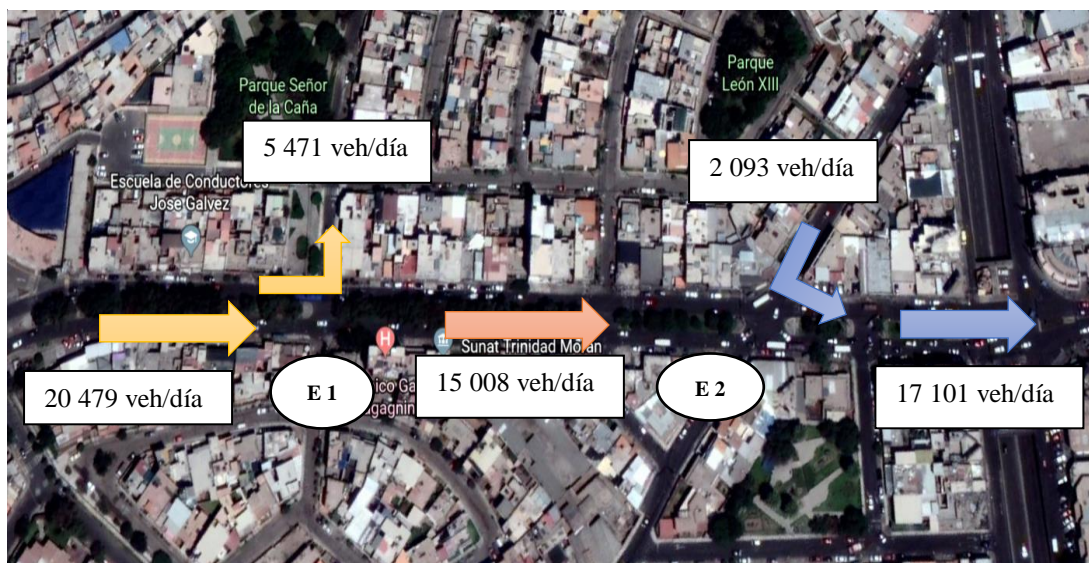
Se define el volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada durante un periodo determinado (Cal y Mayor, 1892, p.152).

Para determinar el volumen de tránsito se realizó un estudio de tránsito durante una semana para el carril derecho de la Av. Trinidad Moran, tramo de estudio elegido para el análisis de la presente tesis.

En la Av. Trinidad Moran Carril derecho ubicamos dos estaciones en la cual se observa el ingreso y salida de vehículos en las calles principales que interconecta con la vía de estudio para obtener un mejor análisis de volumen de tránsito.

En la Imagen N° 6.2 podemos observar un gráfico de las estaciones tomadas y el flujo vehicular existente en la Av. Trinidad Morán.

Imagen N° 6.2. Flujo vehicular Av. Trinidad Moran Carril derecho






















Fuente: elaboración propia

E1: Estación donde refleja el tránsito que inicia por el inicio de Av. Trinidad Morán y existe un desvío importante de vehículos hacia el parque flor de la caña. El TPDS inicial es 20479 veh/día y una salida de 5471 veh/día.

E2: Estación donde se puede observar el ingreso vehicular por la calle los Arces existe un flujo vehicular 2093 veh/día. En la Tabla N°6.2, podemos observar el volumen de tránsito semanal en la Av. Trinidad Moran carril Derecho.

Tabla N° 6.2. Volumen de transito de una semana Carril Derecho Av., Trinidad Morán

DIA	AUTO 	CAMIONETAS				MICRO 	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
		PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	2 E		>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
																				
LUNES	15769	3129	181	519	1085	56	39	90	22	1	1	6	12	16	1	2	0	33	20962	
MARTES	15698	2942	179	526	1054	55	50	106	29	1	1	2	10	27	1	0	3	61	20745	
MIERCOLES	14582	3119	268	458	912	66	37	87	21	4	0	3	1	19	0	0	0	20	19597	
JUEVES	16722	3231	172	479	719	31	26	79	24	3	0	2	1	12	1	0	1	35	21538	
VIERNES	15720	3066	202	476	890	53	42	92	25	3	0	3	6	19	0	0	0	38	20635	
SABADO	17346	3400	252	394	942	37	32	99	19	2	5	7	4	15	0	1	1	28	22584	
DOMINGO	14347	3394	118	425	692	17	17	22	5	0	0	1	1	2	1	0	0	1	19043	
TOTAL	110184	22281	1372	3277	6294	315	243	575	145	14	7	24	35	110	4	3	5	216	145104	

Estación 1

SALIDA VEHICULOS (desvió Señor de la caña)	
DIA	N° de Vehículos
LUNES	5693
MARTES	5632
MIERCOLES	5295
JUEVES	6124
VIERNES	5691
SABADO	6040
DOMINGO	3820
TOTAL	38295

Estación 2

ENTRADA VEHICULOS (Calle los arces)	
DIA	N° de Vehículos
LUNES	2184
MARTES	2061
MIERCOLES	2097
JUEVES	2368
VIERNES	2179
SABADO	2270
DOMINGO	1490
TOTAL	14649

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Tránsito promedio diario Anual (TMDA)

Este valor representa el número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo del año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales (Cal y mayor, 1982).

Para obtener el valor del tránsito promedio diario anual, se estimará a partir del Tránsito Promedio Diario Semanal (TMDS), valor que se obtendrá a partir del volumen de tránsito realizado por una semana. Se obtendrá a partir de las siguientes expresiones:

$$TMDS = \frac{\sum \text{Tránsito de la semana}}{\text{numero de días (7)}} \quad \text{Ec. N°6.1}$$

$$TMDA = TMDS \pm A \quad \text{Ec. N°6.2}$$

Donde:

A = máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de A es:

$$A = KE \quad \text{Ec. N°6.3}$$

Donde:

K = número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado

E = error de estándar de la media

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras tomadas de la misma población se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar. Se puede deducir:

$$E = \sigma \quad \text{Ec. N°6.4}$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad \text{Ec. N°6.5}$$

Donde:

σ = Estimador de la desviación estándar poblacional

S = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito desviación estándar muestral.

n = Tamaño de la muestra en número de días de conteo = 7

N= Tamaño de la población en número de días del año = 365

La desviación estándar muestral S se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TMDS)^2}{n-1}} \quad \text{Ec. N°6.6}$$

Donde:

TD_i = Volumen de tránsito del día.

La relación entre los volúmenes de tránsito promedio diario anual y semanal es:

$$TMDA = TMDS \pm K \sigma \quad \text{Ec. N°6.7}$$

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad de 90% y 95% los valores de la constante k son 1.64 y 1.96, respectivamente (Cal y mayor, 1982).

Calculo del tránsito medio diario anual, usando ecuación 6.1

$$TMDS = \frac{145104}{7} = 20729 \text{ veh/día}$$

Hallar desviación estándar, aplicando ecuación 6.6:

Tabla N° 6. 3. Cálculo para la desviación estándar

Día	Tdi	Td _i -TPDS	(Td _i -TPDS) ²
Lunes	20962	233	54289
Martes	20745	16	256
Miércoles	19597	-1132	1281424
Jueves	21538	809	654481
Viernes	20635	-94	8836
Sábado	22584	1855	3441025
Domingo	19043	-1686	2842596
TOTAL			8282907

Fuente: Elaboración propia

$$S = \sqrt{\frac{8'282907}{7-1}} = 1175 \text{ veh/dia}$$

Hallar desviación estándar poblacional, aplicando ecuación 6.5:

$$\sigma = \frac{1175}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right)$$

$$\sigma = 440 \text{ veh/dia}$$

Hallar el TMDA, aplicando ecuación 6.7 y una confiabilidad del 90%

$$\mathbf{TMDA} = 20729 \pm 1.96 (440)$$

Existe dos posibles resultados, con propósitos de mayor margen de seguridad elegiremos el mayor para los calcules posteriores

$$+ \mathbf{TMDA} = 20729 + 862.4 \approx 21\,592 \frac{\text{veh}}{\text{dia}}$$

$$- \mathbf{TMDA} = 20729 - 862.4 \approx 19\,866 \frac{\text{veh}}{\text{dia}}$$

$$\mathbf{TMDA}_{2018} = 21\,592 \frac{\text{veh}}{\text{dia}}$$

6.2.3. Tasa de crecimiento

El aumento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, este aumento significa mayor carga aplicada sobre las estructuras de pavimento, este crecimiento se puede dar por distintos factores.

Generalmente el valor de tasa de crecimiento se halla con data histórica o estadística de tránsito en base a estudios realizados en tramos de estudio, para la vía de análisis no se cuenta con dicha información, por lo cual se necesita otras alternativas para hallar este valor; la tesista toma dos fuentes de valores confiables para poder determinar la tasa de crecimiento las cuales son: el PBI y el parque vehicular en la ciudad de Análisis; estas mismas fuentes se usaran en la presente tesis para poder determinar la tasa de crecimiento.

El análisis de este valor corresponde a una tendencia exponencial que sirve para modelos de crecimiento, este modelo es útil cuando valores de datos suben o bajan según tasas en aumento constante (Gonzales M., 2014).

Se utilizará la siguiente ecuación:

$$y = c e^{bx} \quad \text{Ec. 6.8}$$

Donde c y b son constantes y (e) es la base del logaritmo natural, siendo la constante b la tasa de crecimiento que se necesita a hallar.

6.2.3.1. PBI (Producto Bruto Interno)

El PBI es un indicador que ayuda a medir el crecimiento de la producción de empresas de cada país dentro de su territorio, este valor servirá para relacionar el crecimiento económico con la adquisición y aumento vehicular en una ciudad.

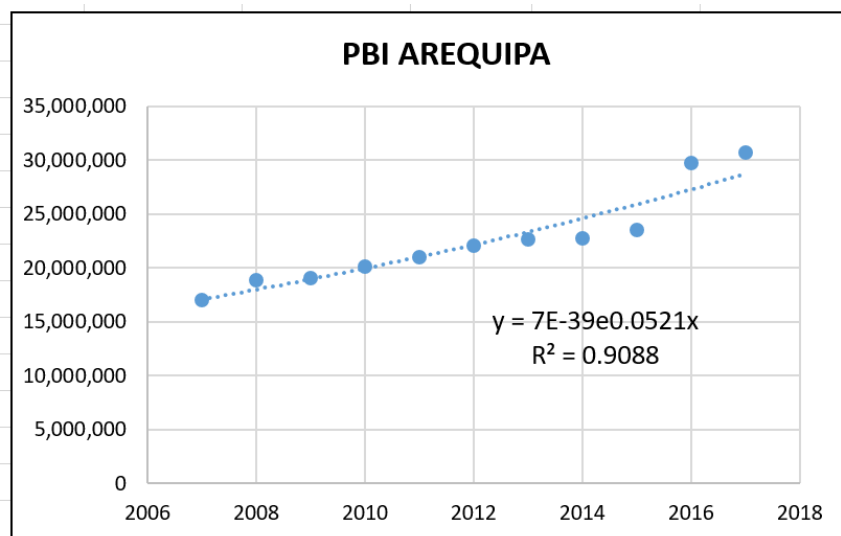
En la Tabla N° 6. 4 se tiene datos obtenidos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), desde el año 2007 al 2017, el PBI está en miles de nuevos soles por año.

Tabla N° 6. 4. PBI anual en Arequipa

AÑO	PBI en Arequipa
2007	16,991,831
2008	18,885,807
2009	19,032,479
2010	20,158,733
2011	21,038,813
2012	22,033,542
2013	22,629,103
2014	22,772,780
2015	23,559,855
2016	29,699,703
2017	30,716,905

Fuente: INEI 2017

Gráfico N° 6. 3. Línea de tendencia exponencial PBI Arequipa



Fuente: Elaboración propia

Según el Gráfico N° 6. 3 de línea exponencial para PBI en Arequipa se obtuvo la siguiente ecuación $y = 7E-39e^{0.0521x}$, donde se observa que la tasa de crecimiento del PBI Arequipa es $0.0521 = 5.21\%$.

6.2.3.2. Parque Automotor estimado en Arequipa

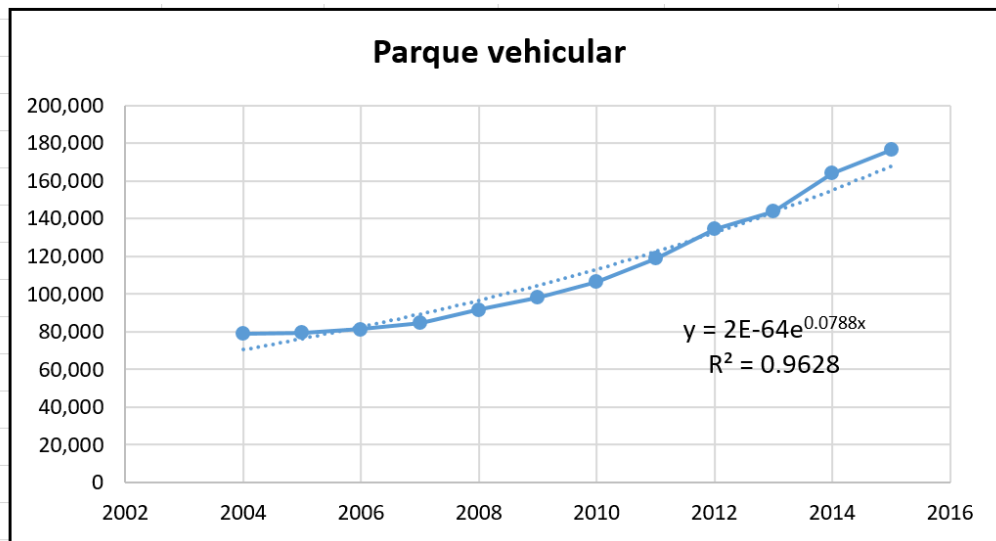
Estos datos se obtuvieron del “Ministerio de Transportes y comunicaciones” MTC -Oficina de general de Presupuesto y planificación, como se muestra en la Tabla N°6.5.

Tabla N° 6. 5. Parque Automotor estimado en Arequipa

Año	Parque vehicular estimado en Arequipa
2004	78,858
2005	79,544
2006	81,293
2007	84,829
2008	91,674
2009	98,270
2010	106,521
2011	118,985
2012	134,533
2013	143,914
2014	164,302
2015	176,315

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Gráfico N° 6. 4. Línea de tendencia exponencial Parque Automotor



Fuente: Elaboración propia

Según el Gráfico N°6.4. de línea exponencial para PBI en Arequipa se obtuvo la siguiente ecuación $y = 2E-64e^{0.0788x}$, donde se observa que la tasa de crecimiento del parque automotor en Arequipa es $0.0788 = 7.88\%$.

Concluimos en obtener un promedio de las dos tasas el crecimiento, el resultado sería 6.55%, valor que usaremos para el análisis del tránsito.

6.2.4. Determinación de tránsito medio diario anual al 2010

El tránsito medio diario anual que obtuvimos por el estudio de tránsito, pertenece al año 2018, nosotros necesitamos el tránsito medio del año en que fue construida la vía, en este caso 2010. De la ecuación 2.19, podemos deducir la siguiente fórmula.

$$T_o = \frac{T_n}{(1+r)^{n-1}} \quad \text{Ec. 5.9}$$

De acuerdo a los valores obtenidos podemos hallar el valor del tránsito medio diario anual al 2010.

Donde:

$$T_n = \text{TMDA}_{2018} = 21\,592 \text{ veh/día}$$

$$r = 6.55\% \text{ (tasa de crecimiento obtenida)}$$

$$n = 8 \text{ años.}$$

Resolviendo la ecuación 5.9 con los siguientes datos obtenemos el transito inicial:

$$T_o = TMDA_{2010} = 13\ 854\ veh/dia$$

6.2.5. Composición de transito

La composición vehicular de acuerdo al tipo de vehículo según la clasificación se puede medir en porcentaje, así con el Transito medio diario anual del 2010, podemos obtener el numero por tipo de vehículo aproximado en la fecha de inicio.

En la Tabla N° 6. 6 se presenta la composición vehicular.

Tabla N° 6. 6. Composición del tránsito al 2010

VEHICULO	%	TMDA
Autos	75.93	10520
Pick Up	16.30	2258
Combi Rural	2.26	313
Micro	4.34	601
Bus 2E	0.22	30
Bus 3E	0.17	23
Camión 2E	0.40	55
Camión 3E	0.10	14
Camión 4E	0.01	1
Semi trayler 2s1/2s2	0.00	1
Semi trayler 2s3	0.02	2
Semi trayler 3s1/3s2	0.02	3
Semi trayler 3s3	0.08	11
Trayler 2T2	0.00	0
Trayler 2T3	0.00	0
Trayler 3T2	0.00	0
Trayler 3T3	0.15	21
TOTAL	100	13854

Fuente: Elaboración propia

6.2.6. Determinación de tránsito futuro

Usaremos la ecuación 6.6 para poder predecir el aumento vehicular que se daría en el tramo de estudio para una verificación de periodo de vida útil de diseño de nuestra vía.

El periodo de diseño del tramo de estudio es de 20 años, la fecha de construcción fue en el año 2010, por lo cual se proyectará el transito hasta el año 2030.

Se usará los siguientes datos:

$T_0 = TMDA_{2018} = 21\,592$ veh/día

$r = 6.55\%$ (tasa de crecimiento obtenida)

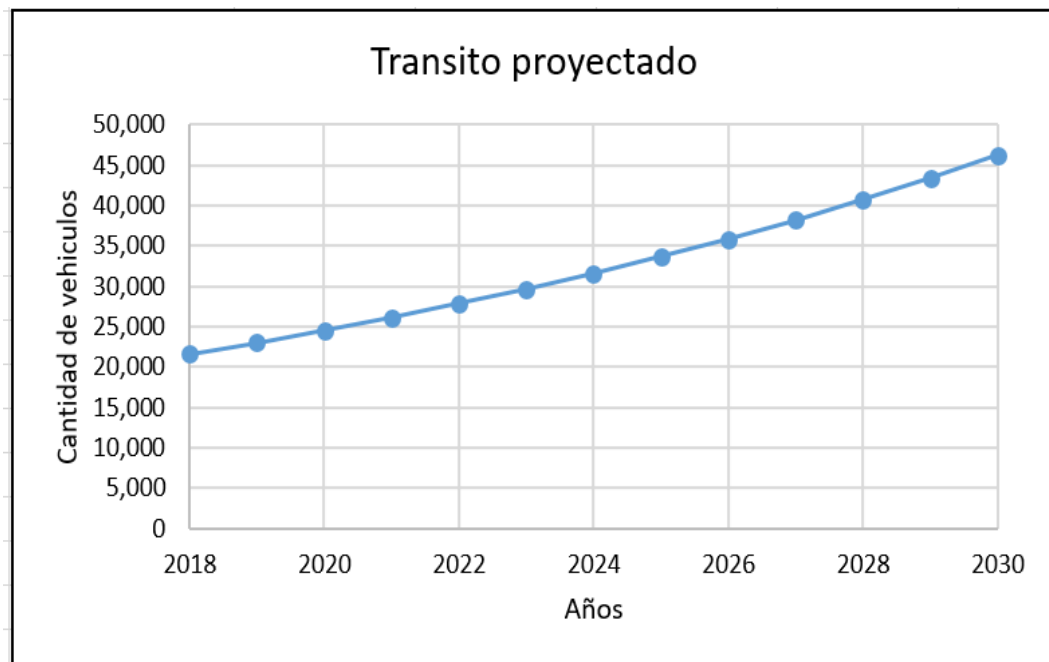
$n = 12$ años.

Tabla N° 6. 7. Tránsito proyectado al 2030

AÑO	n (años)	TMDA
2018	0	21,592
2019	1	23,005
2020	2	24,511
2021	3	26,115
2022	4	27,824
2023	5	29,645
2024	6	31,586
2025	7	33,653
2026	8	35,856
2027	9	38,202
2028	10	40,703
2029	11	43,367
2030	12	46,205

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 5. Tránsito proyectado al 2030



Fuente: Elaboración propia

6.3. EJES EQUIVALENTES DE CARGA

6.3.1. Serviciabilidad

La Serviciabilidad de un pavimento es un valor de apreciación con el cual se puede evaluar las condiciones de comodidad y/o calidad de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado. El PSI (present serviciabilty index) varía entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). Según el AASHTO 93 este valor está en función del diseño del pavimento y calidad de construcción.

Se distingue dos tipos de serviciabilidades en el diseño de pavimentos, las Serviciabilidad inicial y la Serviciabilidad final; la primera indica la condición de la vía recientemente construida y la segunda la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de intervención.

La guía de diseño AASHTO 93 recomienda los siguientes valores que se obtuvieron del AASHO ROAD TEST:

Tabla N° 6. 8. Serviciabilidad AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Po= 2.5 para pavimentos rígidos
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	Po= 2.0 para pavimentos flexibles

Fuente: Guía AASHTO 93

6.3.2. Determinación del SN (Numero estructural).

El número estructural se refiere al paquete estructural con la cual se construirá la vía, es decir el espesor de cada capa que conformara la estructura del pavimento durante su vida útil de diseño.

Como vimos en el capítulo 3, con el expediente técnico del proyecto “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de las avenidas trinidad moran, Cayma, Bolognesi, Miguel Grau, en la zona baja y media, distrito de Cayma-Arequipa”, podemos obtener las propiedades de las capas y sus respectivos espesores para obtener el numero estructural.

Este valor se obtendrá de acuerdo a la siguiente expresión establecida por la guía de diseño AASHTO 93:

a) **Hallar coeficiente estructural de cada capa:**

Para hallar el coeficiente estructural a_1 de la carpeta asfáltica se utilizará el Gráfico N° 6. 6 proporcionada por la guía de diseño AASHTO 93; en el Capítulo III de acuerdo al expediente técnico se tiene el ensayo Marshall donde obtenemos valores de flujo y estabilidad de la mezcla asfáltica, las cuales utilizaremos para obtener el valor del coeficiente estructural.

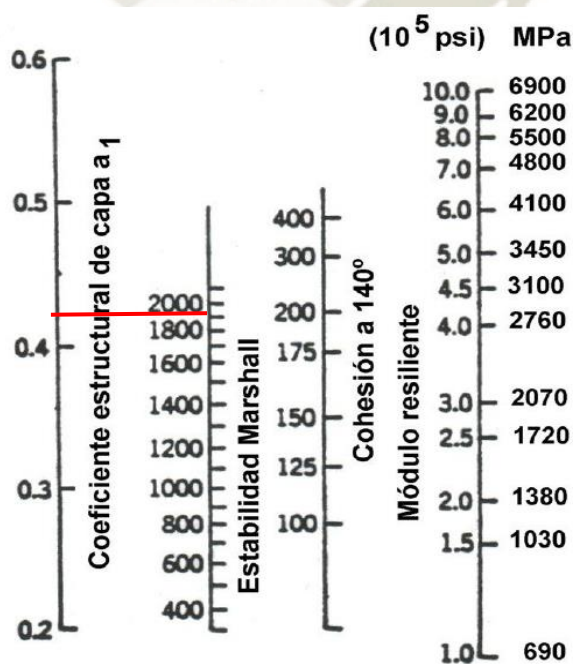
La estabilidad se encuentra en la unidad de kg, por lo cual para correlacionar con el grafico debemos convertidos dichos valores a libras.

Tabla N° 6. 9. Flujo y estabilidad ensayo Marshall del expediente técnico

Ensayos	Flujo	Estabilidad (kg)	Estabilidad (lb)
1	3.58	1049.7	2314.2
2	2.08	997.9	2200.0
3	2.92	1172.8	2585.6
4	3.67	882.7	1946.0
5	4.33	728.8	1606.7
6	4.83	658.6	1452.0
Promedio	3.57	915.08	2017.4

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 6. Coeficiente estructural para capas asfálticas (a_1)



Fuente: AASHTO 93

El coeficiente estructural de acuerdo al grafico seria:

$$a_1 = 0.42$$

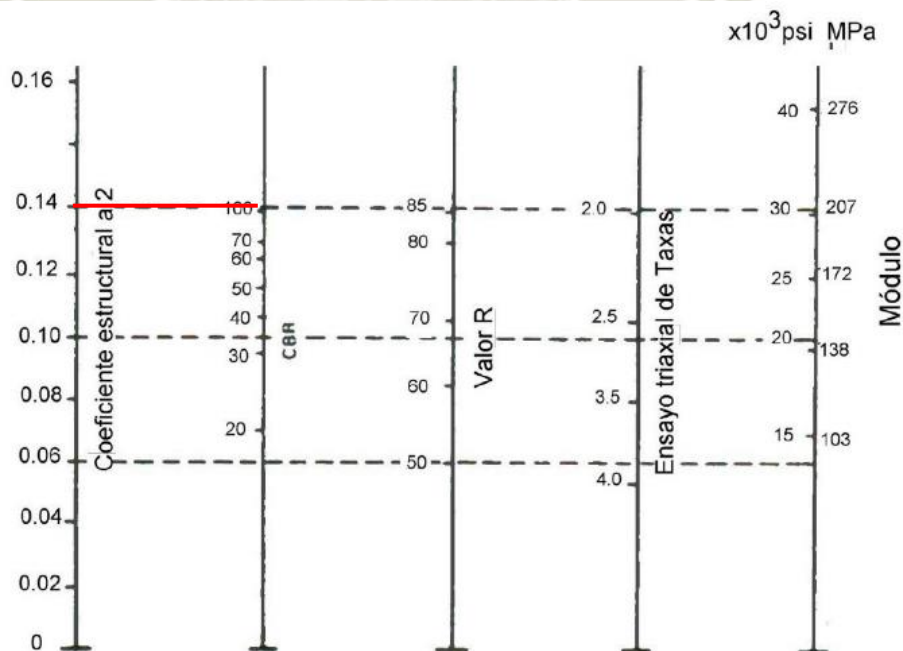
Para hallar el coeficiente estructural a_2 de la base granular se utilizará el Gráfico N° 6. 7 proporcionada por la guía de diseño AASHTO 93; en el Capítulo IV: ensayo de CBR (Tabla N° 4.6), se obtuvieron valores de la base los cuales usaremos para relación con la gráfica.

Tabla N° 6. 10. Valores CBR para para base granular

Muestra	Calicata	C.B.R	C.B.R. promedio
BASE GRANULAR	C-1	97%	100%
	C-2	102%	
	C-3	100%	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 7. Coeficiente estructural para base (a_2)



Fuente: AASHTO 93

El coeficiente estructural de acuerdo al grafico seria:

$$a_2 = 0.14$$

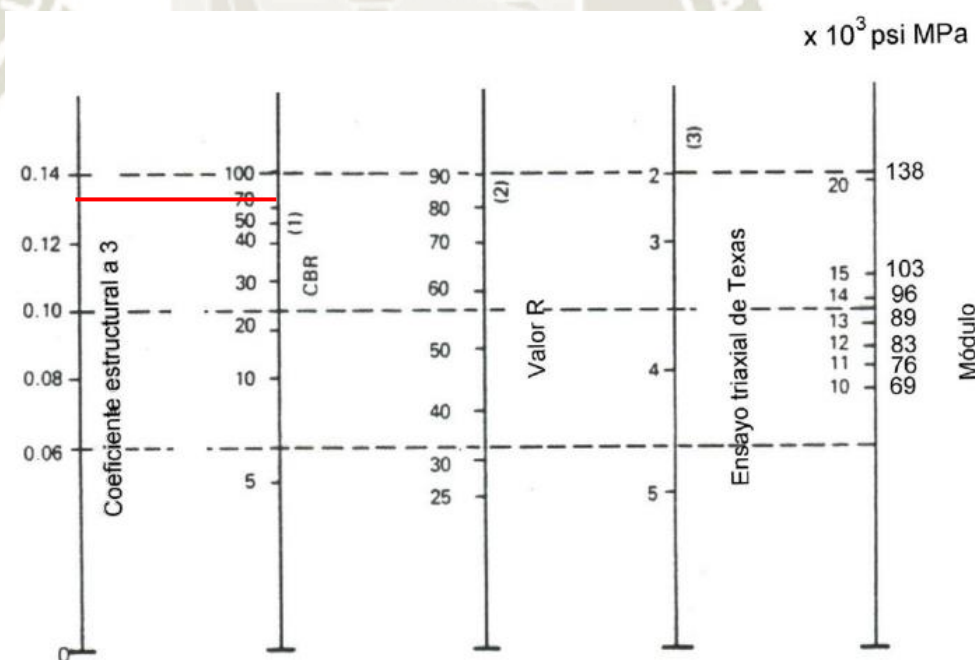
Para hallar el coeficiente estructural a_3 de la subbase granular, se utilizó el Gráfico N° 6. 8 proporcionada por la guía de diseño AASHTO 93; en el Capítulo IV: ensayo de CBR (Tabla N° 4.6), se obtuvieron valores de la subbase los cuales usaremos para relación con la gráfica.

Tabla N° 6. 11. Valores CBR para subbase granular

Muestra	Calicata	C.B.R	C.B.R. promedio
SUBBASE GRANULAR	C-1	78%	76%
	C-2	68%	
	C-3	82%	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 8. Coeficiente estructural para subbase (a_3)



Fuente: AASHTO 93

El coeficiente estructural de acuerdo al grafico seria:

$$a_3 = 0.13$$

b) **Espesor de capa**

En el capítulo IV, se obtuvo el espesor de cada capa que constituye el pavimento de estudio, estos valores deben estar en pulgada.

Tabla N° 6. 12. Espesores del pavimento

Muestra	Ubicación	Carpeta asfáltica		Base		Subbase	
		Espesor (cm)	Espesor (plg)	Espesor (cm)	Espesor (plg)	Espesor (cm)	Espesor (plg)
1	Km 0+062	6.5	2.56	15.0	5.90	15.5	6.10
2	Km 0+223	6.6	2.60	15.5	6.10	15.5	6.10
3	Km 0+320	6.5	2.56	15.5	6.10	16.0	6.30
		D1	2.57	D2	6.03	D3	6.16

Fuente: Elaboración propia

c) **Hallar el coeficiente de drenaje.**

Según el manual centroamericano para diseño de pavimentos considera que el drenaje de agua en los pavimentos es una variable muy importante, puesto que el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito, se puede decir que ocasionara daños importantes en la estructura del pavimento.

La guía de diseño AASHTO 93 en la Tabla N° 6. 13, recomienda los siguientes tiempos de drenaje:

Tabla N° 6. 13. Tiempo de drenaje

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Fuente: Guía para diseño de pavimentos, AASHTO 93

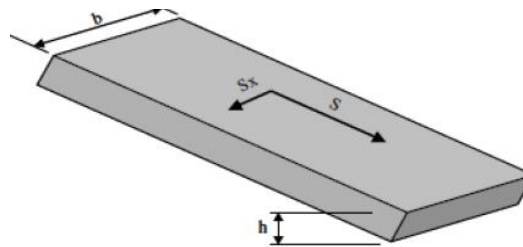
Se realizará el Método del tiempo para drenar, encontrado en el manual Centro americano para diseño de pavimentos para ambas capas granulares del pavimento en estudio.

Los datos necesarios para efectuar el análisis son:

- Pendiente longitudinal (S) = de acuerdo al perfil longitudinal en el expediente técnico, elegiremos la pendiente más crítica es 1.402%.
- Pendiente transversal (Sx) = según expediente el bombeo es 2.00%

- Espesor de la capa a drenar h = en ambas capas tanto base como subbase es de 0.15m
- Ancho de la base permeable (b) = el ancho del carril es de 3.00 m

Imagen N° 6.3. Geometría de la base



Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos

Podemos hallar:

- Longitud resultante

$$L_r = b \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0.5} \quad \text{Ec. 6.11}$$

$$L_r = 3.00 \left[\left(\frac{0.01402}{0.02} \right)^2 + 1 \right]^{0.5}$$

$$L_r = 3.665 \text{ m}$$

- Pendiente transversal resultante

$$S_r = [(S)^2 + S_x^2]^{0.5} \quad \text{Ec. 6.12}$$

$$S_r = [(1.402)^2 + 2^2]^{0.5}$$

$$S_r = 2.442 \%$$

- Factor pendiente longitudinal

$$S = \frac{L_r \times S_r}{h} \quad \text{Ec. 6.13}$$

$$S = \frac{3.66 \times 0.02442}{0.15}$$

$$S = 0.596$$

Para poder hallar la permeabilidad de cada capa granular es necesario conocer las siguientes características del material:

Tabla N° 6. 14. Características de cada material

Descripción	Base granular	Subbase granular
Gravedad específica	2.59	2.44
Peso específico seco (gf/cm ³)	2.15	2.02
Pasante N# 200	6.05%	5.53%
D10	0.21	0.44
IP	NP	NP
Clasificación	A-1-a (0)	A-1-a (0)

Fuente: Elaboración propia

El valor de la porosidad efectiva (N_c) se obtiene a partir de:

$$N_c = \frac{N_{emax} \cdot C}{100} \quad \text{Ec. 6. 14}$$

Para calcular la porosidad efectiva necesitamos obtener el valor de la porosidad la cual hallaremos con las siguientes formulas, asumimos el valor del volumen total es 1, para obtener la porosidad máxima.

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad \text{Ec. 6. 15}$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad \text{Ec. 6. 16}$$

Aplicando las siguientes ecuaciones se obtiene el N_{emax} para cada capa:

Base $N_{emax} = 0.169$

Subbase $N_{emax} = 0.172$

Con la Tabla N° 6. 15 se puede obtener la pérdida de agua C:

Tabla N° 6. 15. Cantidad de agua que puede drenar por gravedad

Material predominante	Cantidad de finos								
	< 2.5%			2.5% - 5%			5% - 10%		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	filler	limo	Arcilla	filler	limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	35	18	- 8

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos

Las dos capas granulares cuentan con un porcentaje mayor a 5 de finos y según la clasificación la base es una grava limosa y la subbase arena limosa, por lo tanto, el valor de C a tomar seria 30 y 18, respectivamente.

$$N_c \text{ Base} = \frac{N_{emax} \cdot C}{100} = \frac{0.169 \times 30}{100} = \mathbf{0.051}$$

$$N_c \text{ Subbase} = \frac{N_{emax} \cdot C}{100} = \frac{0.172 \times 18}{100} = \mathbf{0.032}$$

Calculamos el coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles m_x :

$$m_x = \frac{N_c \times L_r^2}{(h \times k)} \quad \text{Ec. 6.17}$$

El valor de k representa a la permeabilidad la cual se obtendrá a través del ábaco de la Gráfico N° 6.9.

$$\mathbf{K \text{ base} = 3 \text{ pie/día} = 0.913 \text{ m/día}}$$

$$\mathbf{K \text{ subbase} = 8 \text{ pie/día} = 2.435 \text{ m/día}}$$

Aplicando la ecuación 6.17 los coeficientes de drenaje serian:

$$\mathbf{m_2 = 4.98}$$

$$\mathbf{m_3 = 1.17}$$

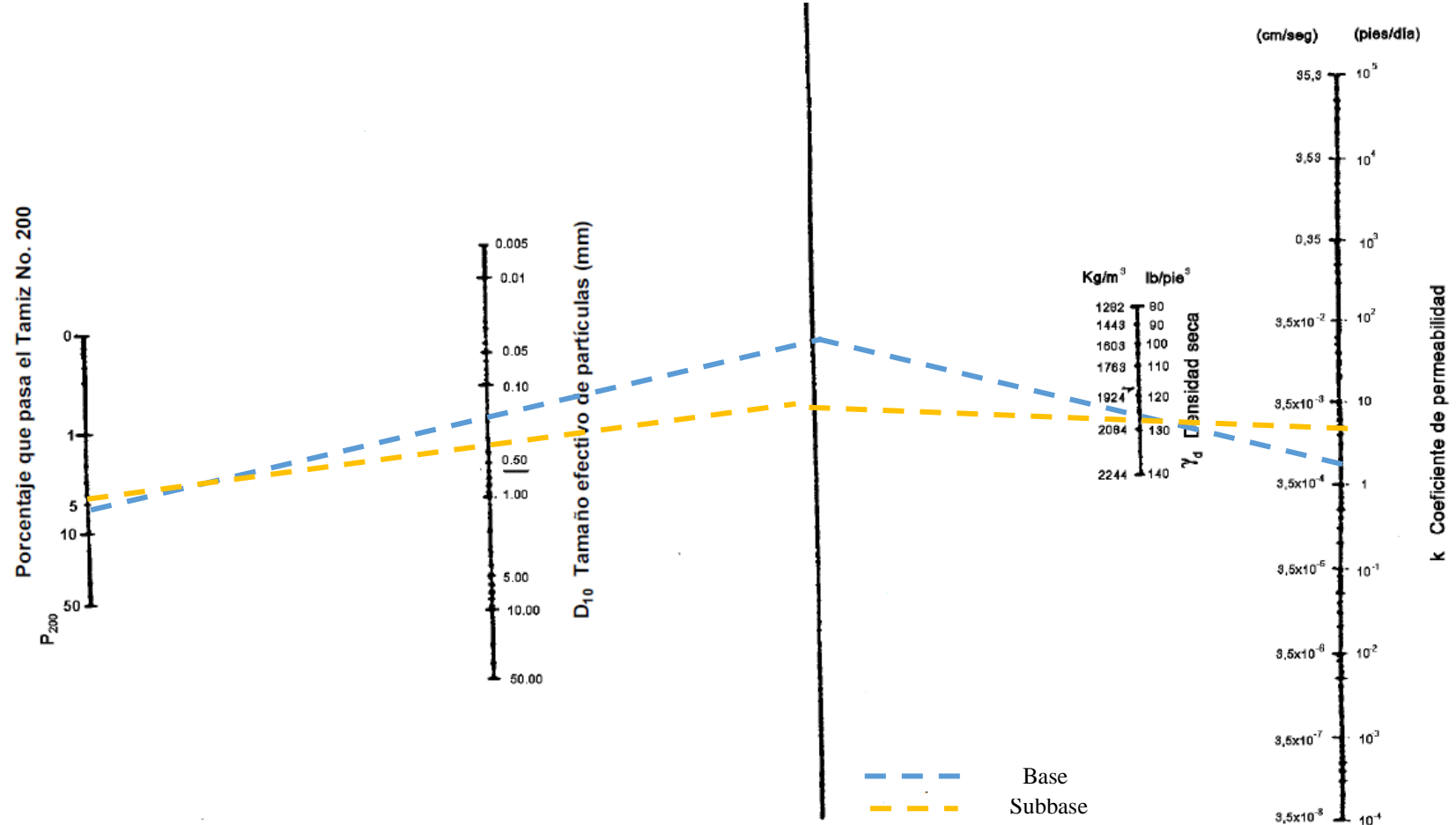
Para la base se optará por tomar un valor distinto puesto que el coeficiente máximo es 1.40 para pavimentos flexibles, se optará por tomar ese valor.

Aplicando la ecuación 2.2 el número estructural es:

$$\mathbf{SN = 0.42 \times 2.57 + 0.14 \times 6.03 \times 1.4 + 0.13 \times 6.16 \times 1.17}$$

$$\mathbf{SN = 3.20}$$

Gráfico N° 6. 9. Ábaco para el cálculo de la permeabilidad k



Fuente: UNSJ Argentina, 1994

6.3.3. Cálculo de EALF

De acuerdo a las ecuaciones mencionadas sobre el cálculo de EALF en el Capítulo II, se puede realizar el cálculo de este valor por cada tipo de eje y tomando los pesos del Reglamento Nacional de Vehículos.

Tabla N° 6. 16. EALF por tipo de eje

CALCULO DE EALF PARA CADA TIPO DE EJE									
Tipo de eje	Lx/ton	Lx/kip	L18	L2x	L2s	G	Bx	B18	EALF por eje
simple	0.67	1.47735	18	1	1	-0.105	0.401	0.978	0.00008
	1.3	2.8665	18	1	1	-0.105	0.404	0.978	0.00070
	1.4	3.087	18	1	1	-0.105	0.405	0.978	0.00092
	3.82	8.4231	18	1	1	-0.105	0.471	0.978	0.04626
	7	15.435	18	1	1	-0.105	0.830	0.978	0.53520
	11	24.255	18	1	1	-0.105	2.121	0.978	3.49402
Tándem	16	35.28	18	2	1	-0.105	1.045	0.978	1.26371
	18	39.69	18	2	1	-0.105	1.326	0.978	2.05344
Tridem	23	50.715	18	3	1	-0.105	0.967	0.978	1.27855
	25	55.125	18	3	1	-0.105	1.131	0.978	1.79806

Fuente: Elaboración propia

Conociendo el esquema de ejes de cada vehículo según la Tabla N°2.10 podemos elaborar un espectro de carga basado en los pesos del reglamento nacional de vehículos. Para lo cual hallaremos el número de ejes totales de acuerdo al peso y tipo de eje.

En la Tabla N° 6. 17 se puede obtener el total de ejes totales al año 2018.

Tabla N° 6. 17. Número de ejes por tipo de vehículo

Vehículo	Esquema de ejes	Cantidad	Peso por eje Tn	eje/veh	Nro. Ejes simples	Peso por eje Tn	eje/veh	Nro. Ejes tandem	Peso por eje Tn	eje/veh	Nro. Ejes tridem
Auto	1.1	110184.00	0.67	2	220368.00						
Pick Up	1.1	23563.00	1.30	2	47126.00						
Combi rural	1.1	3277.00	1.40	2	6554.00						
Micro	1.1	6294.00	3.82	2	12588.00						
Bus 2E	1.1	315.00	7.00	1	315.00						
			11.00	1	315.00						
Bus 3E	1.2	243.00	7.00	1	243.00	16.00	1	243.00			
Camion 2E	1.1	575.00	7.00	1	575.00						
			11.00	1	575.00						
Camion 3E	1.2	145.00	7.00	1	145.00	18.00	1	145.00			
Camion 4E	1.3	14.00	7.00	1	14.00				23.00	1	14.00
Semi Trayler 2s1/2s2	1.1.1	7.00	7.00	1	7.00						
			11.00	2	14.00						
Semi Trayler 2s3	1.1.3	24.00	7.00	1	24.00				25.00	1	24.00
			11.00	1	24.00						
Semi Trayler 3s1/3s2	1.2.1	35.00	7.00	1	35.00	18.00	1	35.00			
			11.00	1	35.00						
Semi Trayler 3s3	1.2.3	110.00	7.00	1	110.00	18.00	1	110.00	25.00	1	110.00
Trayler 2T2	1.1.1.1	4.00	7.00	1	4.00						
			11.00	3	12.00						
Trayler 2T3	1.1.1.2	3.00	7.00	2	6.00	18.00	1	3.00			
			11.00	1	3.00						
Trayler 3T2	1.2.1.1	5.00	7.00	2	10.00	18.00	1	5.00			
			11.00	1	5.00						
Trayler 3T3	1.2.1.2	216.00	7.00	1	216.00	18.00	2	432.00			
			11.00	1	216.00						
TOTAL					289539.00			973.00			148.00

Fuente: Elaboración propia

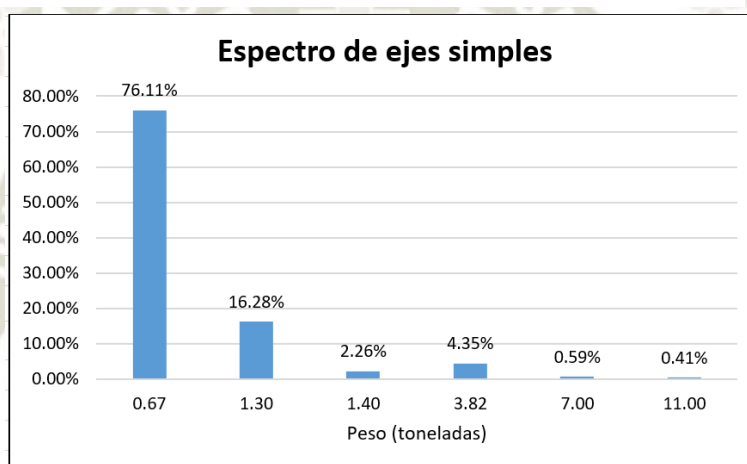
En la Tabla N° 6. 18, se realizó el espectro de carga de acuerdo al tipo de eje proporcionando el porcentaje de cada eje de acuerdo a su peso

Tabla N° 6. 18. Espectro de carga

Ejes simples	N° ejes totales	%	Ejes tándem	N° ejes totales	%	Ejes Tridem	N° ejes totales	%
0.67	220368.00	76.11	16	243.00	24.97	23	14.00	9.46
1.3	47126.00	16.28	28	730.00	75.03	25	134.00	90.54
1.4	6554.00	2.26	-			-		
3.82	12588.00	4.35	-			-		
7	1704.00	0.59	-			-		
11	1199.00	0.41	-			-		
Total	289539.00	100.00		973.00	100.00		148.00	100.00

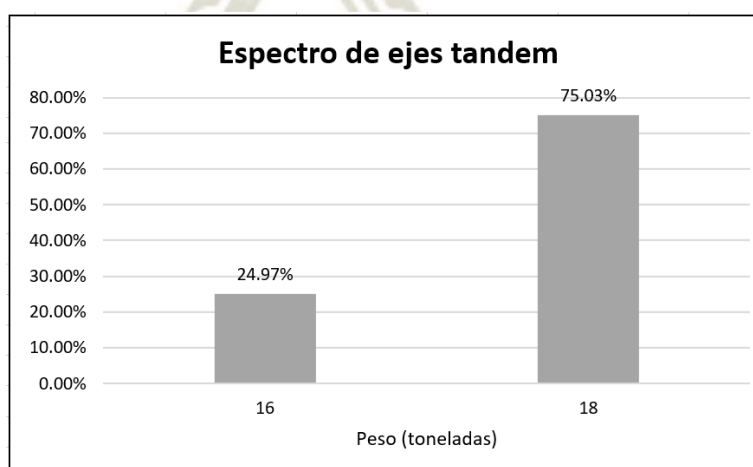
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 10. Espectro de ejes simples



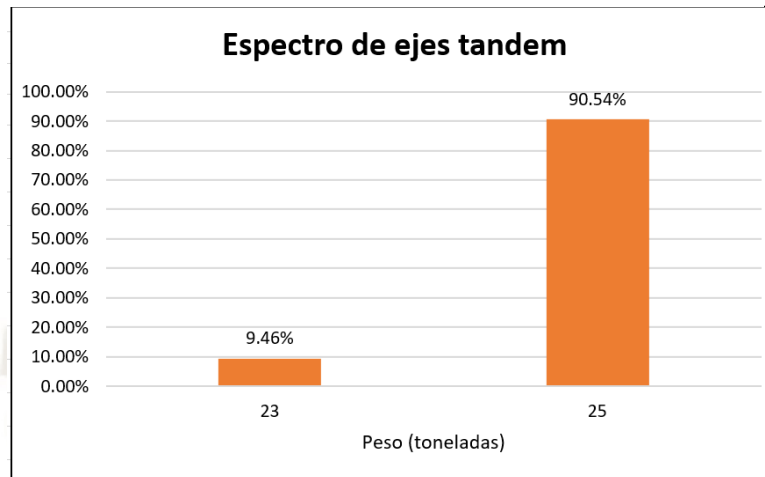
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 11. Espectro de ejes Tándem



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 12. Espectro de ejes Tridem



Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Determinación de ESAL

Para calcular el valor de ESAL de diseño “Equivalent simple axial load” de diseño o W18 se utilizó la Ecuación 2.12.

Factor de distribución direccional:

El tramo de estudio es la Av. Trinidad Moran, la cual cuenta con dos direcciones, con propósitos de análisis se eligió tomar el carril derecho por lo cual solo se tomará una dirección, siendo este valor 1.

Factor de distribución por carril (L):

Este valor se define por el número de carriles por sentido que se encuentra en una vía, siendo el carril de diseño que recibe mayor número de ESAL’s, la guía AASHTO 93 nos proporciona los siguientes valores.

Tabla N° 6. 19. Factor de distribución de carril

Nro. De carriles por sentido	L
1	1
2	0.80-1
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para diseño de pavimentos, AASHTO 93

El número de carriles por sentido es 2, se optará por tomar el valor de $L = 0.8$

Factor de incremento del crecimiento anual:

Está en relación con la tasa de crecimiento y se obtiene mediante la siguiente formula:

$$g = \frac{(1 + r)^z - 1}{r} \quad \text{Ec. 6. 18}$$

Donde:

z = número de años para el análisis, se determina 8 años de vida del pavimento

r = tasa de crecimiento, se obtuvo 6.55%

$$g = \frac{(1 + 0.0655)^8 - 1}{0.0655}$$

$$g = 10.09$$

Para el cálculo de ESAL se realizará por tipo de vehículo por lo cual necesitamos obtener el EALF por tipo de vehículo.

Tabla N° 6. 20. EALF por tipo de vehículo

Tipo de vehículos	CARGAS (TON)				EALF				EALF por vehículo
	Eje delantero	Ejes posteriores			Eje delantero	Ejes posteriores			
		1°	2°	3°		1°	2°	3°	
Auto	0.67	0.67			0.00008	0.00008			0.00017
Pick Up	1.30	1.30			0.00071	0.00071			0.00141
Combi rural	1.40	1.40			0.00093	0.00093			0.00183
Micro	3.82	3.82			0.04649	0.04649			0.09252
Bus 2E	7.00	11.00			0.53484	3.50638			4.02922
Bus 3E	7.00	16.00			0.53484	1.26352			1.79891
Camión 2E	7.00	11.00			0.53484	3.50638			4.02922
Camión 3E	7.00	18.00			0.53484	2.05540			2.58864
Camión 4E	7.00	23.00			0.53484	1.27802			1.81375
Semi Trayler 2s1/2s2	7.00	11.00	11.00		0.53484	3.50638	3.50638		7.52323
Semi Trayler 2s3	7.00	11.00	25.00		0.53484	3.50638	1.79837		5.82728
Semi Trayler 3s1/3s2	7.00	18.00	11.00		0.53484	2.05540	3.50638		6.08266
Semi Trayler 3s3	7.00	18.00	25.00		0.53484	2.05540	1.79837		4.38670
Trayler 2T2	7.00	11.00	11.00	11.00	0.53484	3.50638	3.50638	3.50638	11.01725
Trayler 2T3	7.00	11.00	11.00	18.00	0.53484	3.50638	3.50638	2.05540	9.57668
Trayler 3T2	7.00	18.00	11.00	11.00	0.53484	2.05540	3.50638	3.50638	9.57668
Trayler 3T3	7.00	18.00	11.00	18.00	0.53484	2.05540	3.50638	2.05540	8.13610

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6. 21. Calculo ESAL 2018

VEHICULO	TMDA	EALF	D	L	g	ESAL 18KIP
Autos	10520	0.00017	1	0.8	10.09	5189.7262
Pick Up	2258	0.00142	1	0.8	10.09	9355.4403
Combi Rural	313	0.00185	1	0.8	10.09	1689.6229
Micro	601	0.09298	1	0.8	10.09	163875.87
Bus 2E	30	4.04122	1	0.8	10.09	356248.11
Bus 3E	23	1.79835	1	0.8	10.09	121940.4
Camión 2E	55	4.04122	1	0.8	10.09	653121.54
Camión 3E	14	2.59024	1	0.8	10.09	106809.72
Camión 4E	1	1.81286	1	0.8	10.09	5345.507
Semi trayler 2s1/2s2	1	7.54760	1	0.8	10.09	22172.528
Semi trayler 2s3	2	5.83959	1	0.8	10.09	34348.392
Semi trayler 3s1/3s2	3	6.09662	1	0.8	10.09	53780.569
Semi trayler 3s3	11	4.38861	1	0.8	10.09	142213.77
Trayler 2T2	0	11.05398	1	0.8	10.09	12400.513
Trayler 2T3	0	9.60300	1	0.8	10.09	8084.3014
Trayler 3T2	0	9.60300	1	0.8	10.09	13473.836
Trayler 3T3	21	8.15202	1	0.8	10.09	503554.29
					ESAL	2.21E+06

Fuente: Elaboración propia

6.4. VERIFICACION DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

6.4.1. Determinación de ESAL futuro

La Av. trinidad moran fue diseñada para 20 años de vida útil según el expediente técnico, por lo cual realizamos el Cálculo de ESAL para determinada fecha, por lo cual el único valor que variaría sería el factor de crecimiento anual. Aplicando la ecuación N°6.19, cambiando el siguiente valor

z = número de años para el análisis, se determina 20 años de vida útil del pavimento

$$g = \frac{(1 + 0.0655)^{20} - 1}{0.0655}$$

$$g = 38.12$$

Tabla N° 6. 22. Cálculo ESAL 2030

VEHICULO	TMDA	EALF	D	L	g	ESAL 18KIP
Autos	10520	0.00017	1	0.8	39.04	19791.703
Pick Up	2258	0.00142	1	0.8	39.04	35692.175
Combi Rural	313	0.00185	1	0.8	39.04	6446.7612
Micro	601	0.09298	1	0.8	39.04	629248.42
Bus 2E	30	4.04122	1	0.8	39.04	1372673.3
Bus 3E	23	1.79835	1	0.8	39.04	471757.79
Camión 2E	55	4.04122	1	0.8	39.04	2516567.8
Camión 3E	14	2.59024	1	0.8	39.04	412782.18
Camión 4E	1	1.81286	1	0.8	39.04	20684.387
Semi trayler 2s1/2s2	1	7.54760	1	0.8	39.04	85407.276
Semi trayler 2s3	2	5.83959	1	0.8	39.04	132494.32
Semi trayler 3s1/3s2	3	6.09662	1	0.8	39.04	207407.82
Semi trayler 3s3	11	4.38861	1	0.8	39.04	549734.05
Trayler 2T2	0	11.05398	1	0.8	39.04	47760.62
Trayler 2T3	0	9.60300	1	0.8	39.04	31159.882
Trayler 3T2	0	9.60300	1	0.8	39.04	51933.136
Trayler 3T3	21	8.15202	1	0.8	39.04	1942838.1
					ESAL	8.56E+06

Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Diseño AASHTO 93

Usaremos la ecuación de AASHTO 93 para obtener el número estructural necesario para el ESAL obtenido.

1) Confiabilidad (Zr)

El método AASHTO incorpora el criterio de confiabilidad que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto.

Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento.

El Manual de Carreteras- Sección suelos y pavimentos 2014, nos proporciona una tabla que relaciona el tránsito en ejes equivalentes con la confiabilidad.

Tabla N° 6. 23. Valores recomendados de nivel de confiabilidad según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}		>30'000,000	95%

Fuente: MTC “Sección suelos y pavimentos” 2014

Tabla N° 6. 24. Valores Z_r para distintas confiabilidades

R%	Z _r
50	0
60	-0.25
70	-0.52
75	-0.67
80	-0.84
85	-1.04
90	-1.29
95	-1.64
99	-2.33
99.9	-3.09

Fuente: Guía AASHTO 93

Según el rango de tráfico elegiremos una confiabilidad del 90%, con un valor de Z_r de -1.29.

2) Desviación estándar (So)

La desviación estándar combinada, es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada en la predicción del tránsito y de los factores que afectan el comportamiento del pavimento.

La AASHTO nos recomienda los siguientes valores:

Tabla N° 6. 25. Desviación estándar según tipo predicción de tránsito

Condición de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción sin errores de tránsito	0.34 pav. rígido
	0.44 pav. Flexible
Variación en la predicción con errores de tránsito	0.39 pav rígido
	0.49 pav. Flexible

Fuente: Guía AASHTO 93

Se optará por tomar el valor de 0.49, puesto que el estudio de tránsito realizado abarco el periodo de una sola semana.

3) Perdida de serviciabilidad

Es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal, los valores para un pavimento flexible es 4.2 y 2.5 respectivamente por lo cual la diferencia seria 1.7.

4) Módulo de resiliencia

El módulo de resiliencia es una medida de la rigidez del suelo de la subrasante, el valor de esta capa depende en gran parte del espesor que debe tener un pavimento flexible. Este valor se obtiene mediante el ensayo de resiliencia, para su simplicidad existen correlaciones con el valor del ensayo de CBR.

En el capítulo 4 se realizó el ensayo de CBR de los cuales se obtuvo los siguientes resultados para la subrasante.

Tabla N° 6. 26. CBR subrasante

Muestra	CBR al 95%
Subrasante 1	20
Subrasante 2	28
Subrasante 3	36

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor del CBR de diseño, se debe elegir un percentil de diseño el cual hallaremos con la siguiente tabla:

Tabla N° 6. 27. Percentil de diseño en función al W18

W18	Percentil de diseño
$< 10^4$	60
$\leq 10^5$	75
$> 10^5$	87.5

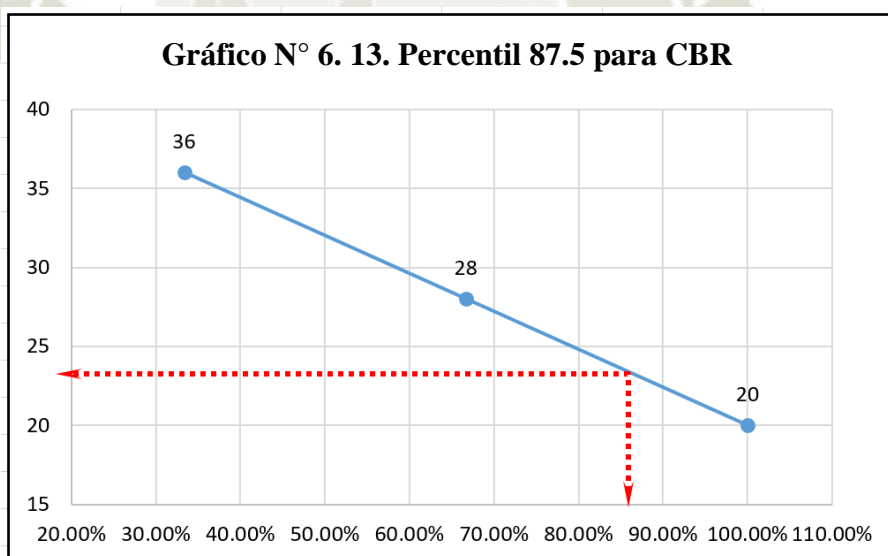
Fuente: Guía AASHTO 93

El W18 es $8.38 \text{ E}+06$, siendo nuestro percentil de diseño 87.5

Tabla N° 6. 28. Percentil en función de CBR

MUESTRA	CBR al 95%	n	Percentil
Subrasante 3	36	1	33.33%
Subrasante 2	28	2	66.67%
Subrasante 1	20	3	100.00%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Con la Gráfico N° 6. 13 podemos elegir el CBR de diseño correspondiente al percentil hallado, siendo este valor:

$$\text{CBR} = 24\%$$

Para hallar el módulo de resiliente, usaremos fórmulas de correlación con el valor de CBR, se usan distintas fórmulas dependiendo del valor de CBR, todas las formulas se encuentra en (lb/plg2.)

CBR ≤ 7%

$$1) \text{ Mr} = 1500 * \text{CBR}$$

CBR 7 < CBR ≤ 15%

$$2) \text{ Mr} = 2555 * \text{CBR}^{0.64}$$

$$3) \text{ Mr} = 3205 * \text{CBR}^{0.55}$$

CBR > 15%

$$4) \text{ Mr} = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$$

$$5) \text{ Mr} = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241$$

$$6) \text{ Mr} = 1938.9 * \text{CBR}^{0.6854}$$

Nuestro valor de CBR es mayor a 15%, por lo cual usaremos las 3 últimas ecuaciones y sacaremos un valor de módulo resiliente promedio:

$$\text{Mr} = 3000 * 24^{0.65} = 23673.29$$

$$\text{Mr} = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241 = 13989.26$$

$$\text{Mr} = 1938.9 * \text{CBR}^{0.6854} = 17121.90$$

$$\text{Mr} = 18261.46 \text{ psi}$$

6.4.3. Calculo del número estructural

Teniendo los valores de entrada de la ecuación de AASHTO 93, podemos obtener el número estructural necesario:

Tabla N° 6. 29. Determinación del Número estructural

CBR suelo	24.00
R	90.00%
Zr	1.29
So	0.49
Pi	4.20
Pf	2.50
DPSI	1.70
EE (diseño)	8.56E+06
Mr	18261.46
x	6.95
log W18	6.92

SN	3.62	pulg
SN	9.20	cm

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el número estructural obtenido siendo este valor de 3.62 pulg podemos concluir que con las condiciones dadas el paquete estructural se encuentra subdimensionada para un periodo de 20 años.

6.5. ESTUDIO DE VELOCIDADES

6.5.1. Estudio de velocidad de punto

Se realizó el estudio de velocidad de punto en los tramos I y II para una muestra de aproximadamente 1000 vehículos, obteniendo en la Tabla N°6.30 con las distribuciones de velocidades y la Tabla N° 6. 32 con las frecuencias respectivas para varios intervalos asignados. Se descartó los datos de la Tabla N° 6. 31 que corresponden con el Gráfico N° 6. 14 y el Gráfico N° 6. 15 debido a la variabilidad de velocidades que se obtenían, esto a causa de la congestión que se generaba por los vehículos que se dirigen hacia el Señor de la Caña.

Imagen N° 6.4. Ubicación Tramo I y II



Fuente: Google Earth

Se presenta la Tabla N°6.30 acerca de la distribución de velocidades del tramo II.

Tabla N° 6. 30. Frecuencia de velocidades Tramo II

Velocidad (km/h)	# Vehículos	Velocidad (km/h)	# Vehículos	Velocidad (km/h)	# Vehículos
9	1	32	0	55	0
10	2	33	0	56	0
11	4	34	99	57	0
12	0	35	0	58	0
13	2	36	0	59	0
14	3	37	0	60	0
15	2	38	124	61	0
16	4	39	0	62	0
17	4	40	0	63	14
18	1	41	0	64	0
19	3	42	101	65	0
20	10	43	0	66	0
21	12	44	0	67	0
22	13	45	0	68	0
23	0	46	0	69	0
24	24	47	79	70	0
25	41	48	0	71	0
26	0	49	0	72	0
27	52	50	0	73	0
28	0	51	0	74	0
29	76	52	0	75	3
30	0	53	0	76	0
31	91	54	33	TOTAL	798

Fuente: Elaboración propia

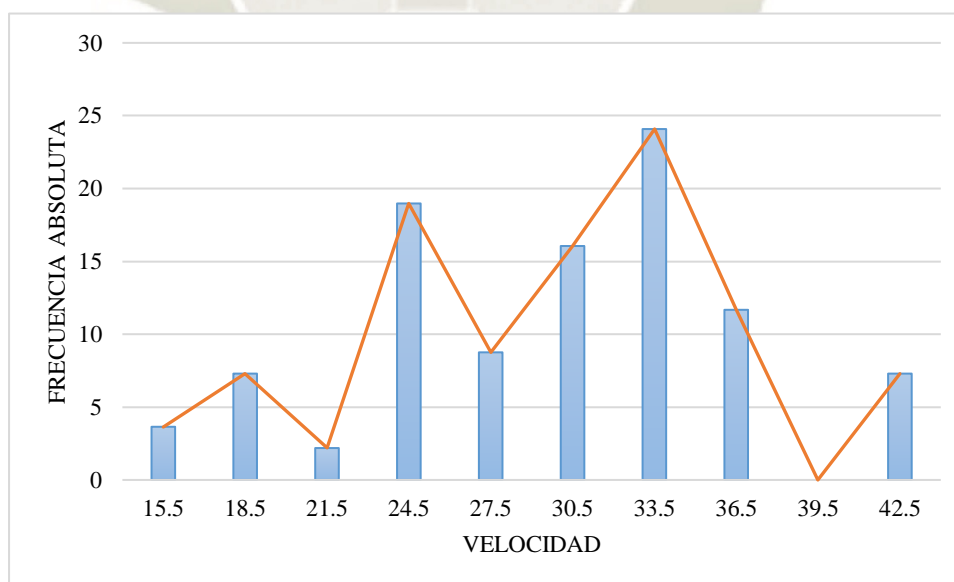
Acerca del estudio de velocidades del tramo I, se muestra la Tabla N° 6. 31 y el Gráfico N° 6. 14; la cual presenta muchas irregularidades, esto a causa de la gran cantidad de vehículos que se detienen para girar hacia el Señor de la Caña.

Tabla N° 6. 31. Distribución de frecuencias de velocidades de punto- Tramo I

Grupos de velocidad	Punto medio	Frec. Observada		Frec. Acum.		V_i^2	$f_i * V_i$	$f_i * V_i^2$
		Abs.	Rel.	Abs.	Rel.			
(km/h)	(km/h)	f_i	$f_i * 100/n$ (%)	f_{ia}	$f_{ia} * 100/n$ (%)			
]14,17]	15.5	5	3.65	5	3.6	240	77.5	1201
]17,20]	18.5	10	7.30	15	10.9	342	185	3423
]20,23]	21.5	3	2.19	18	13.1	462	64.5	1387
]23,26]	24.5	26	18.98	44	32.1	600	637	15607
]26,29]	27.5	12	8.76	56	40.9	756	330	9075
]29,32]	30.5	22	16.06	78	56.9	930	671	20466
]32,35]	33.5	33	24.09	111	81.0	1122	1105.5	37034
]35,38]	36.5	16	11.68	127	92.7	1332	584	21316
]38,41]	39.5	0	0.00	127	92.7	1560	0	0
]41,44]	42.5	10	7.30	137	100.0	1806	425	18063
		137	100.00				4079.5	127570.25

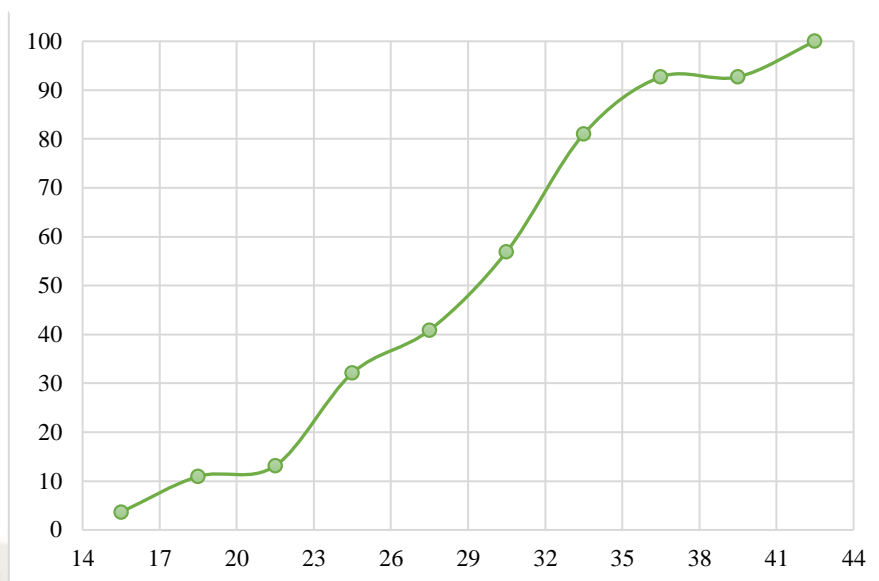
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 14. Histograma y polígono de frecuencia-Tramo I



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6. 15. Curva de frecuencia acumulada-Tramo I



Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el Gráfico N° 6. 15, la curva de frecuencia acumulada es muy variable a medida que se consideran velocidades mayores, esto debido a gran cantidad de vehículo a velocidades normales cuando el tránsito es fluido y también a los que se ven retenidos por el tráfico. Debido a esto los datos de este tramo no fueron utilizados para el desarrollo de la presente tesis.

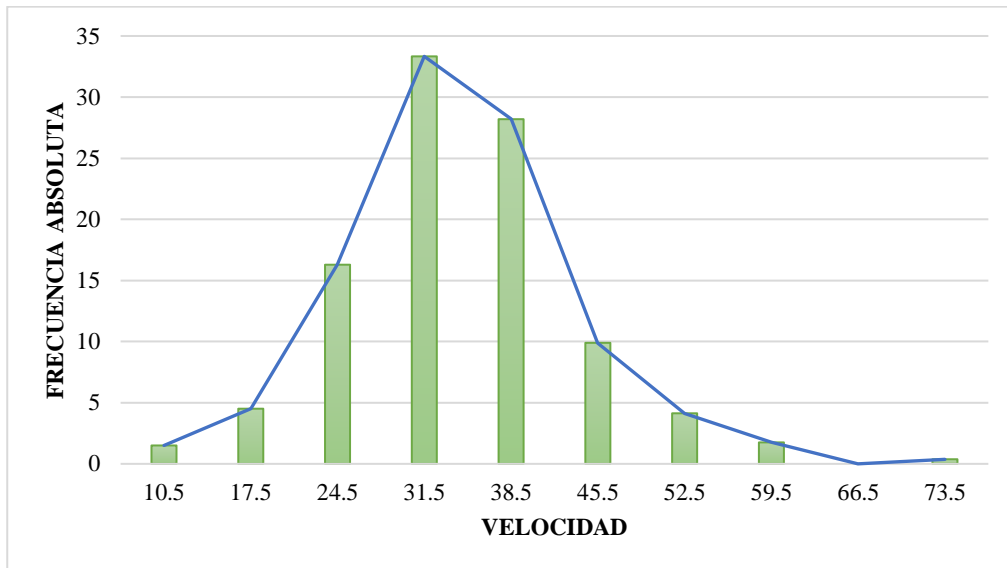
Tabla N° 6. 32. Distribución de frecuencias de velocidades de punto-Tramo II

Grupos de velocidad (km/h)	Punto medio (km/h)	Frec. Observada		Frec. Acum		V_i^2	$F_i * v_i$	$F_i * v_i^2$
		Abs. f_i	Rel. $f_i * 100/n$ (%)	Abs. f_{ia}	Rel. $f_{ia} * 100/n$ (%)			
]7,14]	10.5	12	1.50	12	1.50	110	126	1323
]14,21]	17.5	36	4.51	48	6.02	306	630	11025
]21,28]	24.5	130	16.29	178	22.31	600	3185	78033
]28,35]	31.5	266	33.33	444	55.64	992	8379	263939
]35,42]	38.5	225	28.20	669	83.83	1482	8662.5	333506
]42,49]	45.5	79	9.90	748	93.73	2070	3594.5	163550
]49,56]	52.5	33	4.14	781	97.87	2756	1732.5	90956
]56,63]	59.5	14	1.75	795	99.62	3540	833	49564
]63,70]	66.5	0	0.00	795	99.62	4422	0	0
]70,77]	73.5	3	0.38	798	100.00	5402	220.5	16207
Σ		798	100.00				27363	1008102

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se representó gráficamente los datos obtenidos para el tramo II, presenta la Tabla N° 6. 32 con todos los datos necesarios con los que se elaboró el Gráfico N° 6. 16 y la ojiva porcentual en el Gráfico N° 6. 18.

Gráfico N° 6. 16. Histograma y polígono de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Se ha obtenido la velocidad media temporal mediante la fórmula planteada por Cal y Mayor (2007).

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^m (f_i v_i)}{n}$$

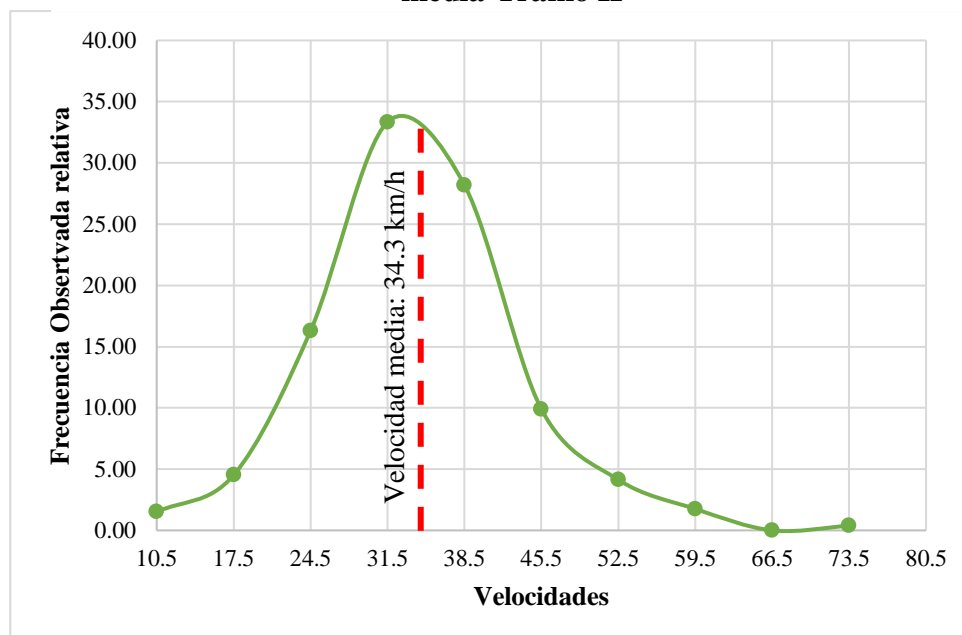
$$\bar{v}_t = 34.3 \text{ km/h}$$

Así mismo la fórmula de velocidad media espacial:

$$\bar{v}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{v_i}\right)}$$

$$\bar{v}_e = 32.2 \text{ km/h}$$

Gráfico N° 6.17. Curva de frecuencia observada y velocidad media-Tramo II



Fuente: Elaboración propia

La desviación estándar y el error estándar de la media fueron hallados de igual manera:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_i v_i^2) - \frac{[\sum_{i=1}^m (f_i v_i)]^2}{n}}{n - 1}}$$

$$S = 9.36 \text{ km/h}$$

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$E = 0.33 \text{ km/h}$$

Por lo que con estos valores elaboramos la Tabla N°6.33, en el que se ve el intervalo de la verdadera velocidad media respecto a cada nivel de confiabilidad

Tabla N° 6. 33. Intervalos de velocidad media

Nivel de Confiabilidad	Constante K	K.E	V _t -KE	V _t +KE
68.3	1.00	0.33	34.0	34.6
89.6	1.50	0.50	33.8	34.8
90	1.64	0.54	33.7	34.8
95	1.96	0.65	33.6	34.9
95.5	2.00	0.66	33.6	35.0
98.8	2.50	0.83	33.5	35.1
99	2.58	0.85	33.4	35.1
99.7	3.00	0.99	33.3	35.3

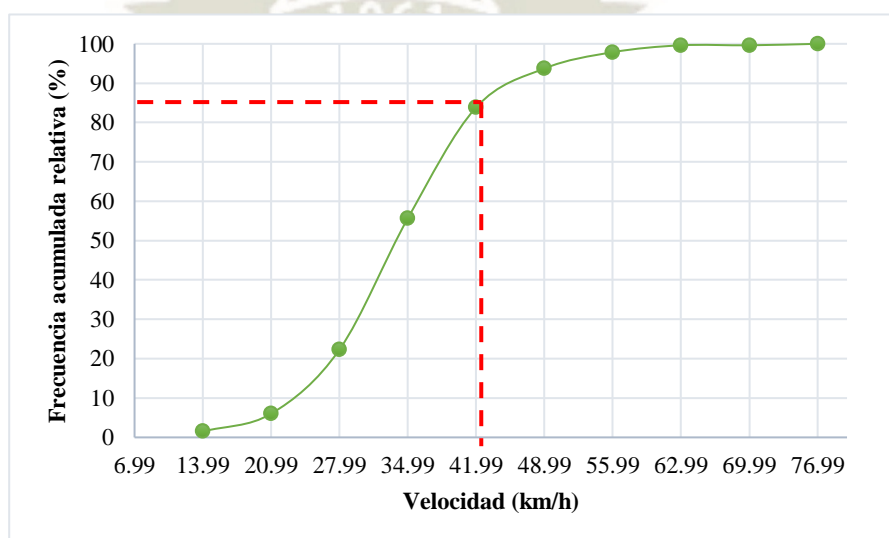
Fuente: Elaboración propia

Del Gráfico N° 6. 18 obtenemos la velocidad operacional, que es la proyección al 85% de la frecuencia acumulada relativa (percentil 85) según la Política de Diseño Geométrico de Carreteras y Calles del AASHTO 2011

$$V_{op} \approx 42 \text{ km/h}$$

En comparación con lo que establece Cal y Mayor que establece al P₈₅ como el límite de velocidad. En cuanto al P₅₀ le corresponde una velocidad aproximada de 34 km/h es aproximadamente igual a la velocidad media temporal.

Gráfico N° 6. 18. Percentil 85 de velocidades



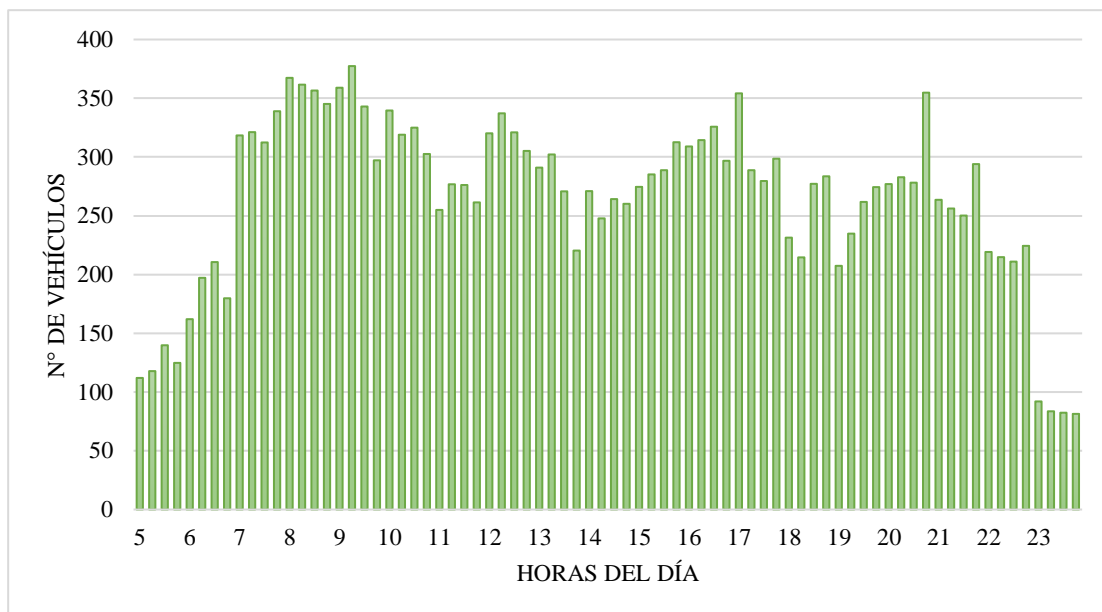
Fuente: Elaboración propia

6.6. Análisis del flujo vehicular

El conteo vehicular se realizó en periodos de 15 minutos, lo cual permitió realizar las tasas de flujo vehicular para periodos cortos. Como se puede apreciar en el Gráfico N° 6. 19, se consideró a partir de las 5 a.m. hasta las 12 a.m.

Se pueden observar además lapsos de 15 minutos donde el flujo vehicular aumenta abruptamente a causa del incremento repentino de movimiento generado por el comercio de la zona.

Gráfico N° 6. 19. Análisis de flujo vehicular



Fuente: Elaboración propia

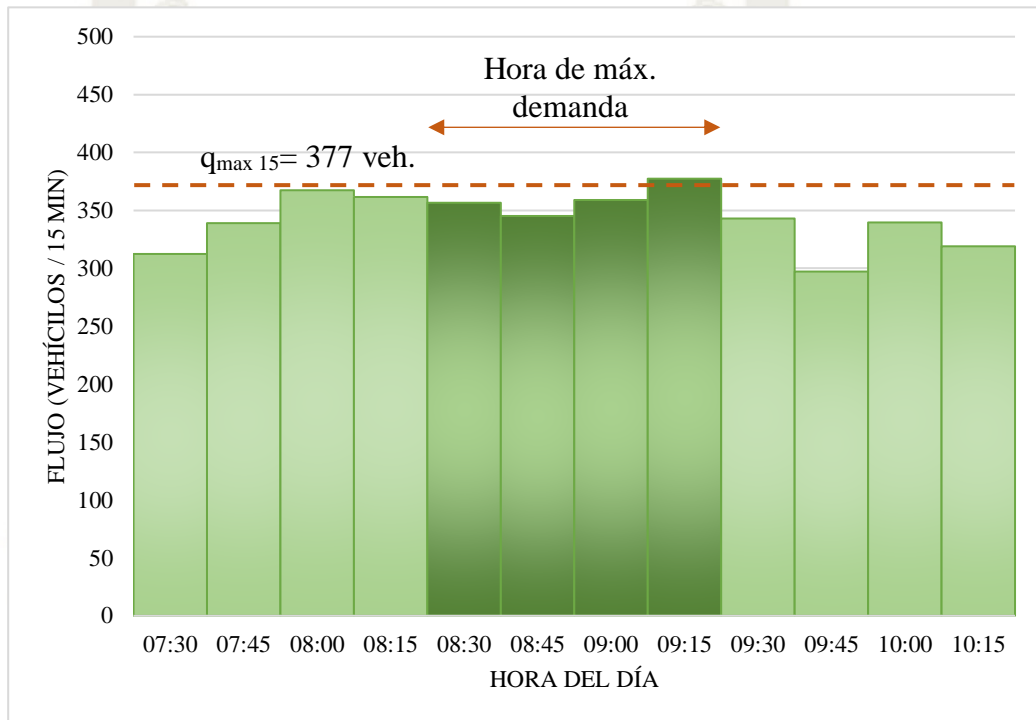
Para el promedio de 5 días típicos de la semana (lunes a viernes), se halló que el VHMD (volumen horario de máxima demanda) fue de 1438 vehículos que sucedieron entre las 8:30 am a las 9:30 am.

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(q_{\max 15})} = \frac{1438}{4 * 377.4} = 0.95$$

El valor cercano a la unidad nos indica que, en este periodo de 60 minutos, el flujo es casi constante. No se cuenta con una comparación para periodos de 5 minutos, esto nos reflejaría la incidencia de vehículos en periodos cortos.

En el Gráfico N° 6. 20 se muestra el VHMD las variaciones del volumen en periodos de 15 minutos para el horario de la mañana.

Gráfico N° 6. 20. Variación del volumen de tránsito



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII

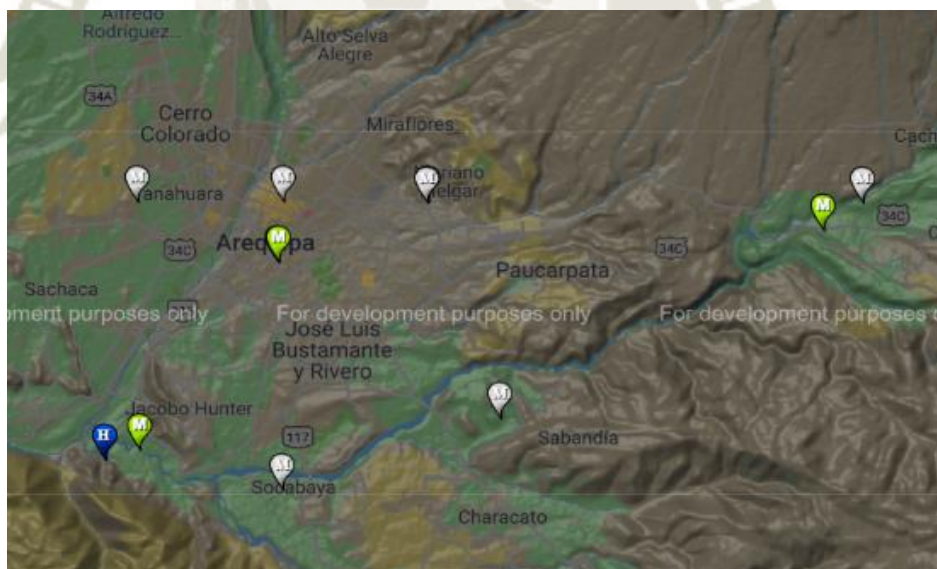
7. VARIABLES CLIMATICAS EN PAVIMENTOS

Para la realización de este capítulo se necesitó obtener data de precipitación y temperatura para poder realizar un análisis solicitado por los softwares simplificados para obtener modelos de desempeño que nos ayudaran en la calibración de estos mismos.

7.1. DATOS CLIMATICOS

Como se concluyó las variables climáticas más importantes que afecta el desempeño de un pavimento son la precipitación, temperatura y radiación solar En la presente tesis de acuerdo a los softwares a usar para su posterior calibración, usaremos los datos de precipitación y temperatura para poder desarrollar un análisis de climático. Las estaciones meteorológicas del SENAMHI nos brindó data de precipitación y temperatura de tres estaciones: La pampilla, Chiguata y Huasacache.

Imagen N°7.1. Mapa de estaciones meteorológicas



Fuente: SENAMHI

La data climatológica obtenida por SENAMHI corresponde a los años 2008-2018, puesto que el tramo de estudio fue construido en el 2010 y los ensayos destructivos y no destructivos se realizaron a finales del año 2018, por lo cual el periodo de análisis de clima será de 10 años.

7.1.1. Precipitación Media Mensual

Se refiere a la lámina que en promedio cae al mes en las estaciones de estudio, estos valores generalmente se dan en unidades de mm.

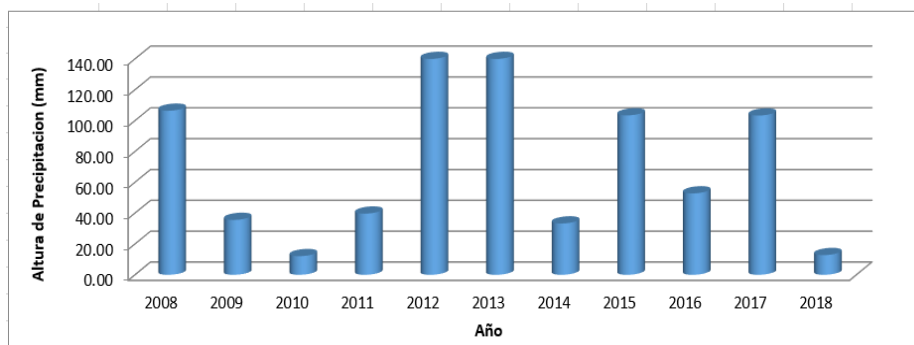
Tabla N°7. 1. Precipitación media mensual Estación la Pampilla

REGISTRO DE PRECIPITACION - ESTACION: LA PAMPILLA													
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	2008	106.4	23.7	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3
2	2009	4.9	35.6	13.4	1.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2010	1.9	12.1	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
4	2011	39.7	0.0	1.0	5.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
5	2012	98.2	153.8	31.3	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.3
6	2013	32.8	190.2	26.7	0.0	2.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
7	2014	33.3	0.0	2.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	2015	13.7	103.4	52.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	2016	0.0	52.8	1.0	8.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
10	2017	103.3	50.6	43.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	14.0
11	2018	12.8	6.2	5.8	0.2	0.0	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: SENAMHI

Con la Tabla N°7. 1 podemos observar la precipitación máxima por cada año, obteniendo un gráfico donde se puede apreciar el año con mayor precipitación.

Gráfico N° 7. 1. Máxima precipitación anual Estación la Pampilla



Fuente: Elaboración propia

Al tener tres estaciones meteorológicas, no se obtiene los mismos datos en cada una por lo cual se realizará un promedio aritmético, viendo la variación del valor de precipitación y así mismo su incidencia en el cálculo del análisis climático para el comportamiento del pavimento.

Tabla N°7. 2. Promedio precipitación media mensual

MES	PRECIPITACION (mm)			Promedio (mm)
	La Pampilla	Huasacache	Chiguata	
Enero	106.40	134.10	189.50	143.33
Febrero	190.20	148.00	230.70	189.63
Marzo	52.60	46.50	118.60	72.57
Abril	19.30	13.50	28.80	20.53
Mayo	2.80	2.10	5.40	3.43
Junio	1.00	0.40	1.80	1.07
Julio	1.00	0.90	2.90	1.60
Agosto	0.70	0.40	0.00	0.37
Setiembre	0.30	0.00	0.20	0.17
Octubre	0.30	0.00	1.00	0.43
Noviembre	0.30	0.00	2.80	1.03
Diciembre	17.10	10.20	27.40	18.23

Fuente: SENAMHI

7.1.2. Temperatura Media Mensual

Se trata de los promedios estadísticos obtenidos dentro del periodo de un mes entre las temperaturas máximas y mínimas, se obtuvo la misma data de las tres estaciones mencionadas, su unidad de se encuentra en grados centígrados

Tabla N°7. 3. Temperatura media mensual Estación la Pampilla

REGISTRO DE TEMPERATURAS - ESTACION: LA PAMPILLA											
MES	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	15.3	16.9	17.8	16.0	16.0	17.3	16.1	17.5	18.8	16.6	16.9
Febrero	15.3	15.8	18.4	15.3	14.7	16.0	16.1	15.6	18.5	16.4	16.5
Marzo	15.4	16.2	17.8	15.6	16.7	16.1	15.7	15.9	18.4	16.6	17.2
Abril	15.5	16.3	17.2	15.8	15.5	15.5	16.5	16.5	17.8	16.9	16.4
Mayo	14.9	15.1	16.0	15.5	14.3	14.2	14.2	15.8	16.8	16.2	15.9
Junio	14.3	14.2	14.9	14.3	13.5	14.5	14.2	16.5	15.3	14.9	15.7
Julio	14.1	14.8	13.6	14.2	13.7	14.1	14.8	15.2	15.7	15.4	15.5
Agosto	15.4	15.3	15.5	15.1	14.9	14.3	14.9	16.8	15.8	15.3	15.9
Setiembre	16.5	17.2	16.1	16.7	16.5	15.7	16.7	17.8	16.9	17.2	16.6
Octubre	17.3	18.0	16.7	15.7	17.3	16.5	16.5	18.7	17.8	18.0	17.7
Noviembre	17.7	18.4	16.4	16.8	17.0	16.0	15.8	18.8	17.8	18.1	17.9
Diciembre	16.7	18.1	16.1	16.4	16.6	16.7	16.2	19.6	17.6	17.6	17.6

Fuente: SENAMHI

Estos datos climatológicos nos ayudaran para poder calcular el índice de Humedad de Thornthwaite (TMI), el cual nos permitirá saber el desempeño del pavimento en función del TMI.

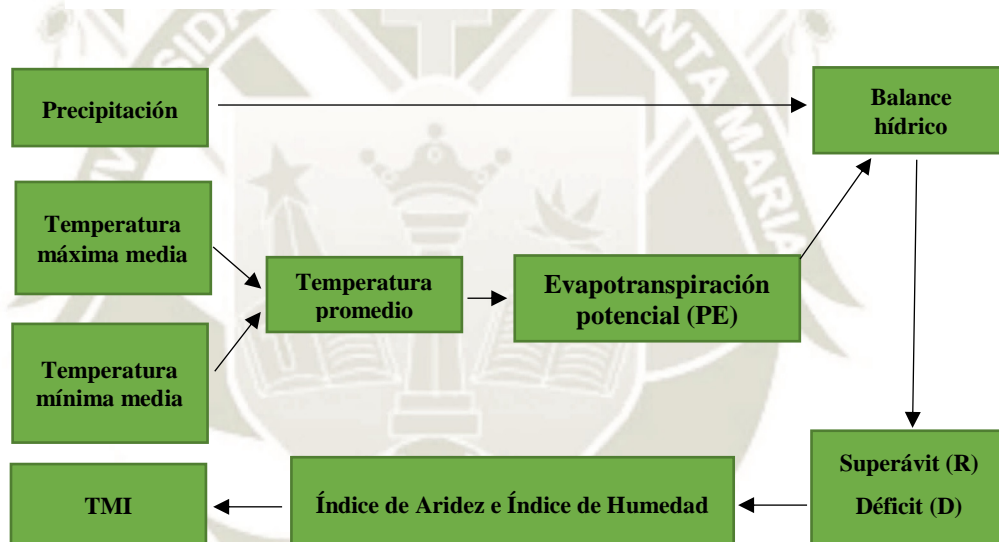
7.2. INDICE DE HUMEDAD DE THORNTHWAITE (TMI)

El TMI es necesario para desarrollar el software CR-ME a continuación se presentará el procedimiento para calcular este valor.

7.2.1. Calculo Del Indice De Humedad De Thornthwaite (Tmi)

Para hallar el valor del TMI, es necesarios obtener distintas variables, el Gráfico N° 7.2, nos presenta un diagrama de flujo el cálculo del TMI.

Gráfico N° 7. 2. Diagrama de Flujo de Cálculo del TMI



Fuente: Review of calculation procedures of Thornthwaite Moisture Index

Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración causa la pérdida de humedad del suelo que transfiere el agua del suelo al aire por evaporación y transpiración. La evapotranspiración potencial (PE) se define como la cantidad de agua que se evaporaría en ciertas condiciones climáticas, asumiendo que la capa de suelo contiene un suministro ilimitado de agua.

Existe diferentes métodos para calcular el PE como: Método de Turc, Hargreaves, Blaney y Criddle, Griessen, Christiansen, Penman Monteith.

Según el NCHRP-09 “Environmental effects in pavement mix and structural Design Systems”, reporte para la calibración y validación de la interfaz climática ICM para el diseño AASHTOWare Design, mismo reporte que valida el software CR-ME, obtiene el valor de PE, mediante el Método de Thornthwaite, mismo método que se utilizara para el presente análisis.

El valor de PE se calcula utilizando la Ecuación 6.1 para cada mes y luego la suma mensual se toma como PE anual. La unidad de PE es centímetros.

$$PE = 1.6 x \left(\frac{10 x t}{I} \right)^a \quad \text{Ec. 7.1}$$

Donde, "t" es la temperatura promedio en un mes en particular (en grados Celsius) y "I" es el índice de calor anual en un año en particular que se toma como suma de los valores del índice de calor mensual (i):

$$i = (0.2 x t)^{1.514} \quad \text{Ec. 7.2}$$

$$a = 6.75 x 10^{-7} x I^3 - 7.771 x 10^{-5} x I^2 + 0.01792 x I + 0.49239 \quad \text{Ec. 7.3}$$

El valor de PE se administra durante un mes de 30 días para un lugar que tenga luz natural de 12 horas. Por lo tanto, debe multiplicarse por dos factores que dan cuenta de las horas de luz diurna para la ubicación de un mes determinado (f1) y la cantidad de días por mes (f2).

$$f1 = \frac{d}{12} \quad \text{Ec. 7.4}$$

$$f2 = \frac{N}{30} \quad \text{Ec. 7.5}$$

Donde "d" es la cantidad de horas en un día entre el amanecer y el atardecer en un mes y "N" es la cantidad de días para un mes en particular

Tabla N°7. 4. Calculo del ETP anual

CALCULO DE ETP POR EL METODO DE THORNWAITE								
Temperatura Media Del Año	Temperatura Media Mensual	Índice De Calor Mensual	Etp Sin Corregir (Pe)	(D)	f ₁	N° Días Del Mes (N)	N° De Días En El Mes (f ₂)	Etp
Enero	17.8865	6.89	6.41	12.72	1.06	31	1.033	7.02
Febrero	19.2955	7.73	7.39	12.50	1.04	29	0.967	7.44
Marzo	19.2235	7.68	7.34	12.15	1.01	31	1.033	7.68
Abril	25.1455	11.54	12.14	11.80	0.98	30	1.000	11.94
Mayo	17.6855	6.77	6.28	11.50	0.96	31	1.033	6.22
Junio	15.622	5.61	4.98	11.35	0.95	30	1.000	4.71
Julio	15.835	5.73	5.10	11.45	0.95	31	1.033	5.03
Agosto	17.134	6.45	5.92	11.70	0.98	31	1.033	5.96
Setiembre	17.4735	6.65	6.14	12.00	1.00	30	1.000	6.14
Octubre	17.282	6.54	6.01	12.40	1.03	31	1.033	6.42
Noviembre	17.919	6.91	6.43	12.70	1.06	30	1.000	6.81
Diciembre	17.671	6.76	6.27	12.85	1.07	31	1.033	6.94
		Índice De Calor Anual (I)	a=	1.87			Etp Anual	82.31
		85.25						

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de TMI tiene otro supuesto relacionado con el almacenamiento de humedad del suelo que conduce a más incertidumbres. Thornthwaite y Mather (Mather, 1978, Thornthwaite y Mather, 1955) asumieron que, cuando el suelo se seca, la extracción de agua del suelo se vuelve cada vez más difícil y, en consecuencia, el almacenamiento de humedad del suelo nunca llega a ser cero.

TMI se define por el índice de aridez (I_a) y el índice de humedad (I_h). I_a es una relación entre el déficit de humedad y la necesidad de agua. I_h es una relación entre el exceso de humedad y la necesidad de agua.

$$I_a = 100 \times \frac{D}{PE} \tag{Ec. 7.6}$$

$$I_h = 100 \times \frac{R}{PE} \tag{Ec. 7.7}$$

Se han proporcionado diferentes definiciones para el excedente de humedad (R), también llamado escorrentía. Thornthwaite (1948) mencionó que el excedente de agua significa adiciones estacionales a la humedad del subsuelo y al agua subterránea

El déficit de humedad (D) se define como el agua adicional requerida para crear la evapotranspiración potencial cuando la precipitación no es suficiente.

La PE se calcula mensualmente para llevar a cabo el balance hídrico y luego se utilizan las sumas de los resultados mensuales para calcular I_a e I_h anualmente. La ecuación de TMI que usa I_a y I_h está dada por la ecuación 8 (Thornthwaite, 1948).

$$\mathbf{TMI = I_h - 0.6 \times I_a} \quad \mathbf{Ec. 7.8}$$

Para el cálculo del balance hídrico se tomaron en cuenta 4 métodos, cada uno de los cuales son descritos a continuación:

- a) Método 1: Publicado por Thornthwaite y Mather en 1957 en las publicaciones de climatología. Este método asume la dificultad para eliminar la humedad del suelo completamente, es por eso que se hace el uso de tablas para el cálculo del almacenamiento S para cada capacidad de campo (S_{max}).

Define la evapotranspiración real como:

$$AE = PE ; \text{ cuando } P \geq AE$$

$$AE = P + \Delta S ; \text{ cuando } P < AE$$

- b) Método 2: Desarrollada por diversos investigadores como Austroads, Barnett y Kingsland, Chan y Mostin. Este método surge a partir de la complejidad de usar las tablas de retención de agua creadas por Thornthwaite y Mather, que en comparación al anterior calcula el almacenamiento del suelo como se muestra en la siguiente fórmula.

$$S_i = S_{i-1} + (P - PE); \text{ si } 0 \leq S_i \leq S_{max}$$

Y el déficit de humedad de la siguiente forma:

$$D = S_{i-1} + (P - PE); \text{ solo si } S_i = 0$$

Lo que quiere decir que es calculado directamente de la humedad perdida debido a la precipitación útil negativa cuando la capacidad de campo llega a su capacidad mínima.

- c) Método 3: Para este método planteado por Austroads en el 2004, plantea el superávit de humedad cuando el suelo presenta humedad sin necesidad de llegar a la capacidad de campo, tal como se ve en la siguiente ecuación.

$$R = PE - AE; \text{ solo si } P > AE$$

Para el cálculo de AE (evapotranspiración real) se hace según las siguientes ecuaciones.

$$AE = PE; \quad \text{cuando } P + \Delta S \geq PE$$

$$AE = PE + \Delta S; \quad \text{cuando } P + \Delta S < PE$$

- d) Método 4: Planteada únicamente por Mather en 1974, evita el cálculo del balance hídrico, modifica la ecuación del calcula del TMI y presenta una fórmula simplificada.

$$TMI = 100 * \left(\frac{P}{PE} - 1 \right)$$

Para el cálculo del TMI se ha usado los métodos 2, 3 y 4 y se ha elaborado las siguientes tablas y gráficas donde se ve las diferencias de cada método. Según Aitchison (1965), Jewell (2009) el valor de capacidad de campo se puede suponer como 100mm.

Tabla N°7. 5. Calculo del TMI mensual para el año 2008

Meses	P (mm)	ETP (mm/mes)			Metodo 2					Metodo 3					Met. 4		
		PU	S		R	D	Ih	Ia	TMI	ΔS	ETR	R	D	Ih	Ia	TMI	TMI
Enero	106.40	63.4	43.0	43.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.4	43.0	0.0	67.9	0.0	67.9	67.9
Febrero	23.70	57.5	-33.8	9.3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.8	57.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-58.8
Marzo	2.40	59.9	-57.5	0.0	0	48.2	0.0	80.5	-48.3	9.3	11.7	0.0	48.2	0.0	80.5	-48.3	-96.0
Abril	0.00	56.1	-56.1	0.0	0	56.1	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	56.1	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Mayo	0.00	52.9	-52.9	0.0	0	52.9	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	52.9	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Junio	0.00	47.0	-47.0	0.0	0	47.0	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	47.0	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Julio	0.00	47.7	-47.7	0.0	0	47.7	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	47.7	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Agosto	0.70	56.7	-56.0	0.0	0	56.0	0.0	98.8	-59.3	0.0	0.7	0.0	56.0	0.0	98.8	-59.3	-98.8
Septiembre	0.00	63.5	-63.5	0.0	0	63.5	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	63.5	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Octubre	0.00	73.6	-73.6	0.0	0	73.6	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	73.6	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Noviembre	0.00	76.4	-76.4	0.0	0	76.4	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	76.4	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Diciembre	0.30	72.9	-72.6	0.0	0	72.6	0.0	99.6	-59.8	0.0	0.3	0.0	72.6	0.0	99.6	-59.8	-99.6

Fuente: Elaboración propia

El cálculo se realizó mes a mes, año a año durante el periodo 2008-2018, del cual se obtuvo los promedios de TMI para cada uno de los meses.

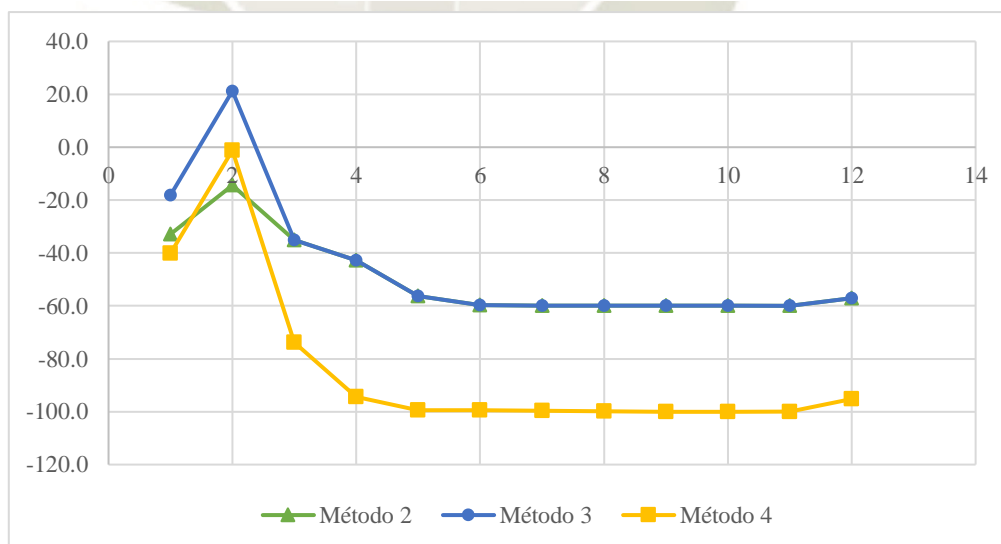
**Tabla N°7. 6. Promedio del cálculo de TMI mensual para el periodo
2008-2018**

Meses	Método 2	Método 3	Método 4
Enero	-33.0	-18.2	-40.2
Febrero	-14.4	21.3	-1.2
Marzo	-35.1	-35.1	-73.8
Abril	-42.8	-42.8	-94.5
Mayo	-56.2	-56.2	-99.4
Junio	-59.7	-59.7	-99.5
Julio	-59.8	-59.8	-99.7
Agosto	-59.9	-59.9	-99.9
Septiembre	-60.0	-60.0	-100.0
Octubre	-60.0	-60.0	-100.0
Noviembre	-60.0	-60.0	-100.0
Diciembre	-57.2	-57.2	-95.3
	-49.8	-45.6	-83.6

Fuente: Elaboración propia

Como se ve, la mayoría los valores de TMI mensuales son negativos, siendo mayores en el método 3 debido a la consideración del superávit y consecuentemente el índice de humedad.

Gráfico N° 7. 3. Comparación de métodos de cálculo de TMI



Fuente: elaboración propia

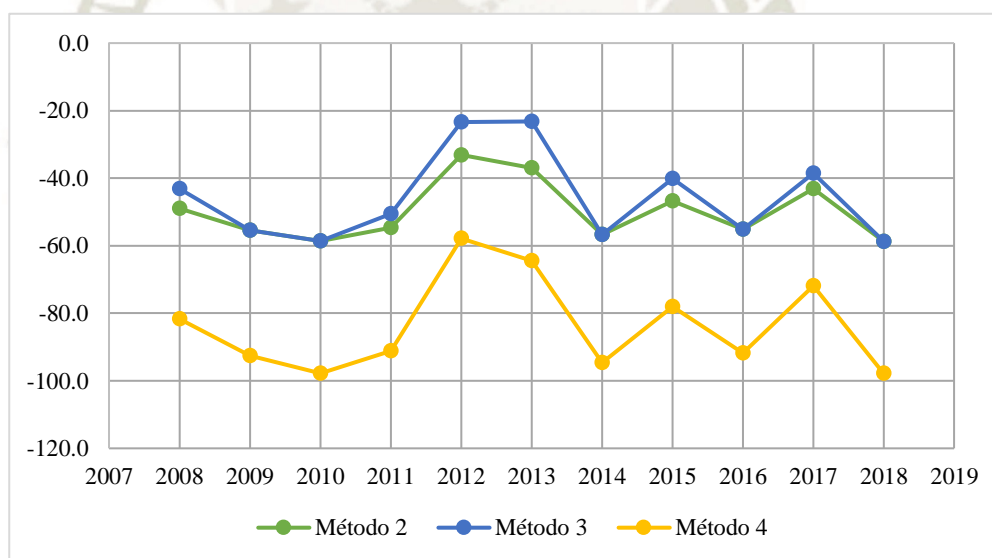
También se obtuvo los resultados de TMI por año mostrados en la Tabla N°7. 7.

Tabla N°7. 7. Comparación anual del cálculo de TMI

Año	Método 2	Método 3	Método 4
2008	-49.0	-43.1	-81.7
2009	-55.5	-55.5	-92.5
2010	-58.7	-58.7	-97.8
2011	-54.7	-50.6	-91.2
2012	-33.1	-23.4	-57.9
2013	-37.0	-23.2	-64.5
2014	-56.8	-56.8	-94.6
2015	-46.8	-40.2	-78.0
2016	-55.1	-55.1	-91.8
2017	-43.1	-38.5	-71.8
2018	-58.7	-58.7	-97.8
PROMEDIO	-49.9	-45.8	-83.6

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 7. 4. Comparación del TMI anual



Fuente: Elaboración propia

También se hizo el cálculo de TMI asumiendo directamente el promedio de las precipitaciones y temperaturas mensuales para el periodo de 10 años. EL resultado del cálculo de TMI se muestra en la siguiente tabla.

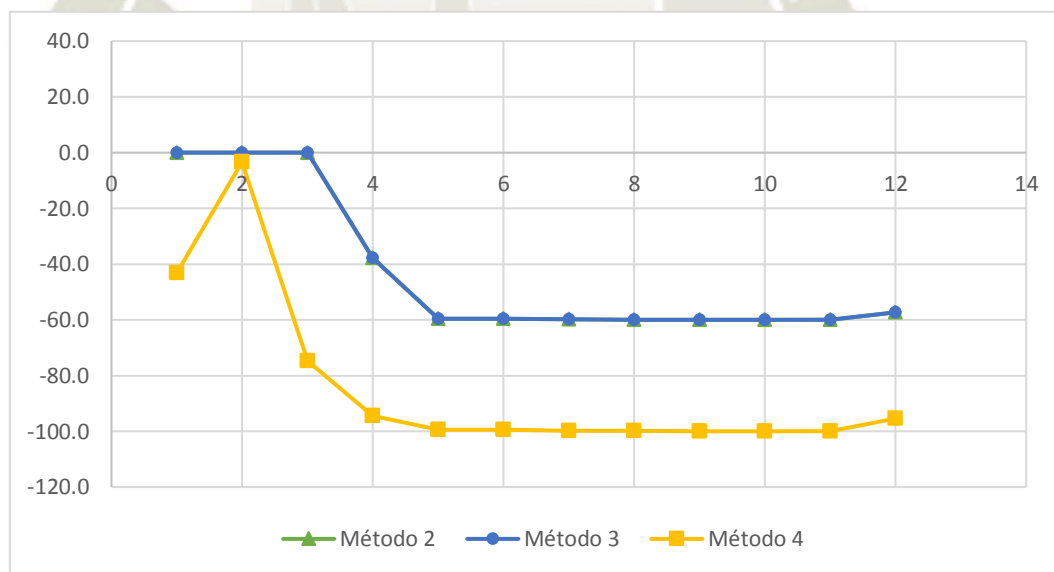
Tabla N°7. 8. Cálculo del TMI para el promedio periodo de 10 años

Meses	P (mm)	ETP (mm/mes)	PU	S	Metodo 2					Metodo 3					Met. 4		
					R	D	Ih	Ia	TMI	ΔS	ETR	R	D	Ih	Ia	TMI	TMI
Enero	40.64	71.5	-30.9	69.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	71.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-43.2
Febrero	57.13	59.1	-2.0	67.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	59.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.4
Marzo	16.41	64.9	-48.5	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	64.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-74.7
Abril	3.24	59.3	-56.0	0.0	0.0	37.4	0.0	63.1	-37.9	18.6	21.9	0.0	37.4	0.0	63.1	-37.9	-94.5
Mayo	0.32	53.8	-53.5	0.0	0.0	53.5	0.0	99.4	-59.6	0.0	0.3	0.0	53.5	0.0	99.4	-59.6	-99.4
Junio	0.25	47.7	-47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	99.5	-59.7	0.0	0.2	0.0	47.5	0.0	99.5	-59.7	-99.5
Julio	0.14	48.9	-48.8	0.0	0.0	48.8	0.0	99.7	-59.8	0.0	0.1	0.0	48.8	0.0	99.7	-59.8	-99.7
Agosto	0.06	54.9	-54.8	0.0	0.0	54.8	0.0	99.9	-59.9	0.0	0.1	0.0	54.8	0.0	99.9	-59.9	-99.9
Septiembre	0.03	63.1	-63.1	0.0	0.0	63.1	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	63.1	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Octubre	0.03	71.6	-71.6	0.0	0.0	71.6	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	71.6	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Noviembre	0.03	72.2	-72.1	0.0	0.0	72.1	0.0	100.0	-60.0	0.0	0.0	0.0	72.1	0.0	100.0	-60.0	-100.0
Diciembre	3.44	74.4	-70.9	0.0	0.0	70.9	0.0	95.4	-57.2	0.0	3.4	0.0	70.9	0.0	95.4	-57.2	-95.4

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico N° 7. 5 se muestran los resultados del cálculo de TMI para el resumen del periodo de 10 años.

Gráfico N° 7. 5. Comparación de TMI para promedio de 10 años



Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojan valores iguales para cálculo de TMI mediante el método 2 y 3, esto debido a que la irregularidad de lluvia de los meses de enero, febrero y marzo durante el periodo de 10 años ha dado un promedio de precipitaciones menor a la evapotranspiración potencial de cada mes.

CAPITULO VIII

8. ANÁLISIS DE SOFTWARES MECANÍSTICOS-EMPÍRICOS

8.1. SOFTWARE CR-ME

8.1.1. Interfaz Principal del Programa

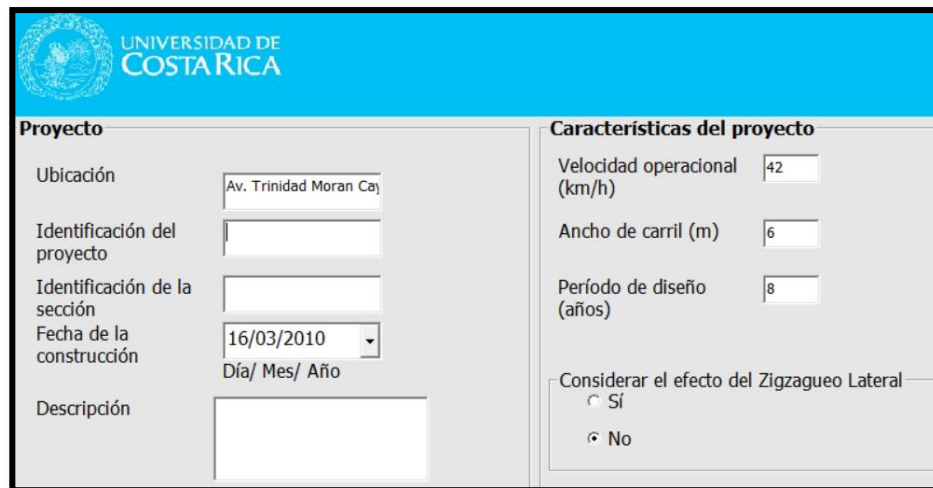
Se presenta la información general del proyecto:

- ✓ Ubicación
- ✓ Identificación del Proyecto
- ✓ Identificación de la sección
- ✓ Fecha de la construcción
- ✓ Descripción

También se presenta las características del proyecto solicitados por el programa para realizar el análisis correspondiente:

- ✓ Velocidad operacional: Se debe introducir un valor en km/h. Este dato es necesario para la estimación del módulo dinámica de la carpeta asfáltica a una cierta velocidad. En el capítulo 5: estudio de velocidades obtuvimos un valor de 42 km/h.
- ✓ Ancho de Carril: se debe introducir un valor en metros, este valor será utilizado en modelos para estimar el zigzagueo lateral. De acuerdo a las mediciones realizadas en el PCI, el ancho de carril es 6.00 m
- ✓ Periodo de diseño: El tiempo de vida útil esperada en el proyecto. Según el expediente es un periodo de 20 años, para efectos de calibración el valor actual de vida útil del pavimento es 8 años, valor a tomar en el cálculo.
- ✓ Efecto de Zigzagueo lateral: Se puede especificar si utilizar los modelos de que consideran que los vehículos abarcaran una huella variable. El caso más crítico es el que no considera este efecto. En el estudio de transito realizado se observó que gran cantidad de vehículos sigue en el mismo carril, por lo cual no se tomara este efecto.

Imagen N°8.1. Interfaz principal del programa



Fuente: Software CR-ME

8.1.2. Interfaz de Tránsito

Se presenta en tres niveles, dependiendo del conocimiento de la variable de Tránsito.

- Nivel 3 (Básico): La variable de tránsito es Ejes equivalentes de cargas. (AASHTO 93)
- Nivel 2 (Intermedio): La variable de tránsito es espectro de carga sin series históricas.
- Nivel 1 (Avanzado): La variable de tránsito es espectro de carga con series históricas.

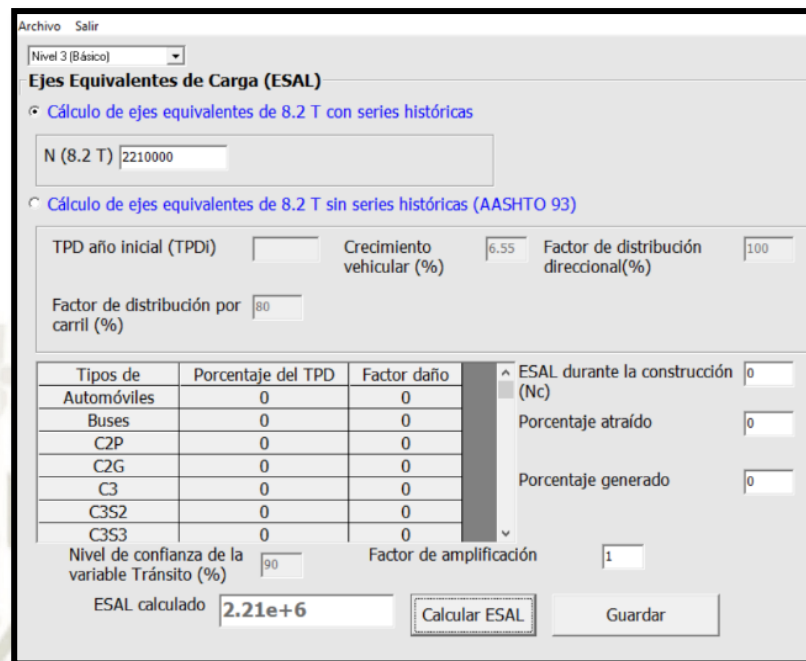
Ejes equivalentes de carga (ESAL)

El programa permite utilizar dos opciones para el valor de ejes equivalentes de carga (ESAL), con series históricas y sin series históricas.

En el Capítulo V de la presente tesis se realizó el cálculo del ESAL 2018 siendo el valor $2.21+E06$.

En la Imagen N°8.2 podemos observar la interfaz de ejes equivalentes con series históricas, en este caso nos permite introducir el valor hallado, bloqueando la casilla de ESAL mediante el método de AASHTO 93, para poder guardar el dato del tránsito es necesario en la casilla factor de amplificación el valor de 1, y luego apretar el botón CALCULAR ESAL, lo que permite almacenar la información del tránsito en el software.

Imagen N°8.2. Interfaz de ejes equivalentes de carga



Tipos de	Porcentaje del TPD	Factor daño
Automóviles	0	0
Buses	0	0
C2P	0	0
C2G	0	0
C3	0	0
C3S2	0	0
C3S3	0	0

Fuente: Software CR-ME

En la interfaz de ejes equivalentes, el programa nos permite hallar el ESAL de diseño mediante la metodología AASHTO 93, siendo los valores necesarios:

- TPD inicial (TPDi): acá se introduce el tránsito promedio diario inicial del proyecto.
- Crecimiento vehicular: es la tasa esperada de crecimiento geométrico de la cantidad de vehículos transitando la carretera. El valor hallado es 6.55%
- Factor de distribución direccional (%): se debe especificar qué porcentaje del TPD transita por el sentido del carril a diseñar. Se considera solo una dirección por lo cual el porcentaje es el 100%
- Factor de distribución por carril (%): se debe especificar qué porcentaje del total de camiones que transitarán la carretera van por el carril más crítico. Según la Tabla N°5.19 el porcentaje a usar sería 80%.

Se debe ingresar el porcentaje de cada vehículo y el factor daño promedio estimado por vehículo, en la interfaz define algunos tipos de vehículos, para lo cual realizaremos una conversión del factor de daño en cantidad de vehículos para asociar y poder utilizar el programa y ver su análisis de acuerdo al ESAL.

En la Tabla N°8.1, podemos observar la conversión de daño por los distintos vehículos a utilizar y un porcentaje del tránsito promedio diario necesario para el software.

Tabla N°8.1. Datos de tránsito CR-ME

Tipo de Vehículo	N° Vehículo real	EALF	Conversión de EALF	N° de vehículos	Total de vehículos	Porcentaje
Autos	10520	0.00017	-		32902	99.298
Pick Up	2258	0.00142	8.395962799	18958		
Combi Rural	313	0.00185	10.93805312	3424		
Micro	601	0.09298	0.05170206	31		
Bus 2E	30	4.04122	2.247178751	67		
Bus 3E	23	1.79835	-		121	0.35
Camión 2E	55	4.04122	-		55	0.16
Camión 3E	14	2.59024	1.428812954	20		
Camión 4E	1	1.81286	-		21	0.06
Semi trayler 2s1/2s2	1	7.54760	1.719816036	2		
Semi trayler 2s3	2	5.83959	1.330624663	3		
Semi trayler 3s1/3s2	3	6.09662	1.389191373	4		
Semi trayler 3s3	11	4.38861	-		20	0.06
Trayler 2T2	0.4	11.05398	1.355981182	1		
Trayler 2T3	0.3	9.60300	1.177990591	1		
Trayler 3T2	0.5	9.60300	1.177990591	1		
Trayler 3T3	21	8.15202	-		24	0.072

Fuente: Elaboración propia

Imagen N°8.3. Interfaz Ejes equivalentes de carga

Ejes Equivalentes de Carga (ESAL)

Cálculo de ejes equivalentes de 8.2 T con series históricas

N (8.2 T)

Cálculo de ejes equivalentes de 8.2 T sin series históricas (AASHTO 93)

TPD año inicial (TPDI) Crecimiento vehicular (%) Factor de distribución direccional(%)

Factor de distribución por carril (%)

Tipos de	Porcentaje del TPD	Factor daño
Automóviles	99.298	0.00017
Buses	0.35	1.79835
C2P	0.16	4.04122
C2G	0	0
C3	0.06	1.81286
C3S2	0.06	4.38861
C3S3	0.072	8.15202

ESAL durante la construcción (Nc)

Porcentaje atraído

Porcentaje generado

Nivel de confianza de la variable Tránsito (%) Factor de amplificación

ESAL calculado

Fuente: Software CR-ME

Utilizando el software y la conversión usada podemos obtener un valor ESAL de $2.55 \text{ E}+06$, teniendo una variación de $0.34 \text{ E}+06$; siendo una fuente confiable de análisis.

8.1.3. Interfaz Clima

Las principales variables que utiliza el programa es el valor del TMI y de la temperatura promedio mensual; la humedad afecta a los materiales granulares que conforman la base, subbase y subransate, y la temperatura influye principalmente sobre la carpeta asfáltica por ser un material viscoelástico.

El valor del índice de Humedad Thornthwaite (TMI), el usuario lo pueda hallar usando algún modelo basado en temperatura y la precipitación o un modelo que considere más variables climáticas.

En el capítulo VII de la presente tesis, se realizó una analisis climático en función de los datos necesarios para la utilización de software.

Tabla N°8.2. Índice de Humedad de Thornthwaite a utilizar en CR-ME

Mes	TMI
Enero	-18.2
Febrero	21.3
Marzo	- 35.1
Abril	- 42.8
Mayo	-56.2
Junio	-59.7
Julio	-59.8
Agosto	-59.9
Setiembre	-60
Octubre	-60
Noviembre	-60
Diciembre	-57.2

Fuente: Elaboración propia

El valor del Temperatura Promedio Mensual, el usuario debe tener la data estadística, los valores a ingresar deben estar en °C.

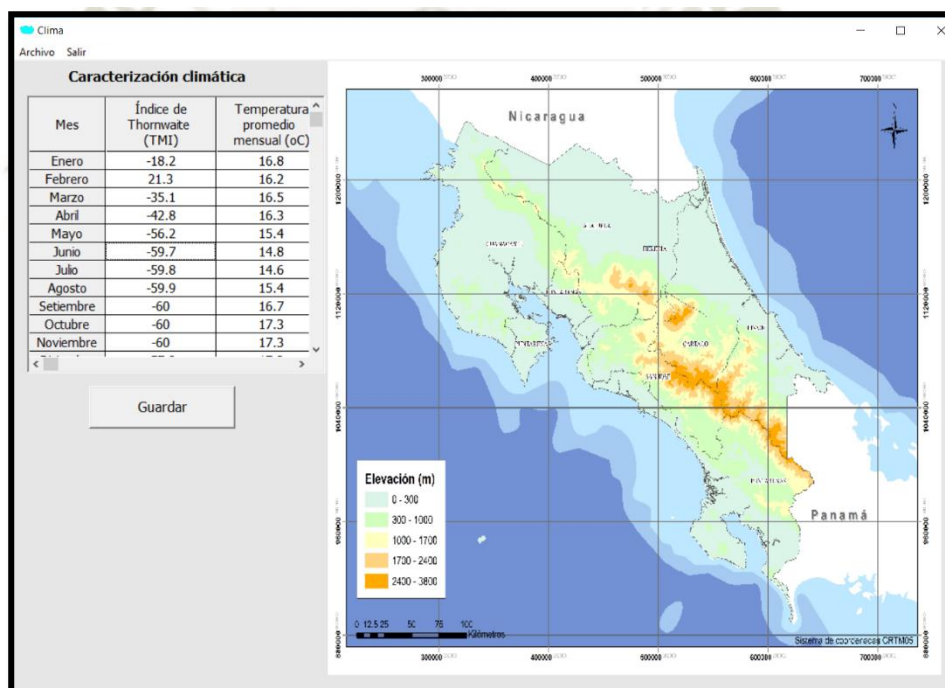
Las temperaturas a utilizar son proporcionadas por SENAMHI.

Tabla N°8.3. Temperatura promedio mensual a utilizar en CR-ME

Mes	T (°C)
Enero	16.8
Febrero	16.2
Marzo	16.5
Abril	16.3
Mayo	15.4
Junio	14.8
Julio	14.6
Agosto	15.4
Setiembre	16.7
Octubre	17.3
Noviembre	17.3
Diciembre	17.2

Fuente: Elaboración propia

Imagen N°8.4. Interfaz climática



Fuente: Software CR-ME

8.1.4. Interfaz de Materiales

El software permite la colocación de hasta 9 capas (3 capas de carpeta asfáltica, 3 capas de base, 2 de subbase y 1 de subrasante colocada por defecto). Cada una detallada a continuación:

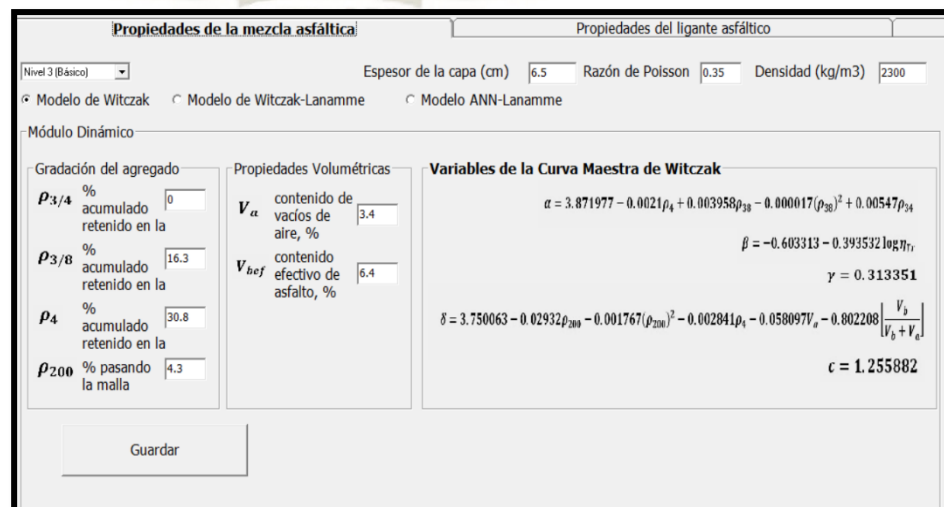
8.1.4.1. Carpeta asfáltica

Se subdivide en 03 pestañas, propiedades de la mezcla asfáltica, propiedades del ligante asfáltico y la curva maestra del módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

Para las propiedades de la mezcla asfáltica se tiene 03 niveles de dificultad que van relacionados a los datos de entrada para la elaboración de la curva maestra. En el nivel de dificultad 1 (avanzado) se colocan directamente los coeficientes que hacen posible la curva maestra según el ensayo NCHRP 1-28A o AASHTO T320 además de la temperatura de referencia. En el nivel intermedio utiliza la metodología de Arrhenius, una aproximación al ensayo mencionado anteriormente. En el nivel 3 (básico) y el usado para la calibración se solicita la gradación del agregado. En este nivel se muestran ecuaciones de según distintos modelos como Witczak, Witczak-Lanamme y ANN-Lanamme. El escogido es Witczak debido a que los otros 2 considera materiales y resultados propios de Costa Rica.

Las propiedades volumétricas como contenido de vacíos de aire y contenido efectivo de asfalto son requeridas en los 3 niveles, así como el espesor de capa, módulo de poisson y densidad; estos valores fueron obtenidos de medición en campo, y tablas respectivamente. Los demás valores de la Tabla N° 3.7 y Tabla N°3.8 sobre las especificaciones de la mezcla asfáltica.

Imagen N°8.5. Interfaz de propiedades de mezcla asfáltica



Propiedades de la mezcla asfáltica | **Propiedades del ligante asfáltico**

Nivel 3 (Básico) | Espesor de la capa (cm) 6.5 | Razón de Poisson 0.35 | Densidad (kg/m3) 2300

Modelo de Witczak | Modelo de Witczak-Lanamme | Modelo ANN-Lanamme

Módulo Dinámico

Gradación del agregado	Propiedades Volumétricas	Variables de la Curva Maestra de Witczak
$P_{3/4}$ % acumulado retenido en la	V_{va} contenido de vacíos de aire, %	$\alpha = 3.871977 - 0.0021\rho_4 + 0.003958\rho_{38} - 0.000017(\rho_{38})^2 + 0.00547\rho_{24}$
$P_{3/8}$ % acumulado retenido en la	V_{bef} contenido efectivo de asfalto, %	$\beta = -0.603313 - 0.393532 \log \eta_r$
P_4 % acumulado retenido en la		$\gamma = 0.313351$
P_{200} % pasando la malla		$\delta = 3.750063 - 0.02932\rho_{200} - 0.001767(\rho_{200})^2 - 0.002841\rho_4 - 0.058097V_a - 0.802208 \frac{V_v}{V_v + V_d}$
		$c = 1.255882$

Guardar

Fuente: Software CR-ME

Para la segunda pestaña se solicitan las propiedades del ligante asfáltico.

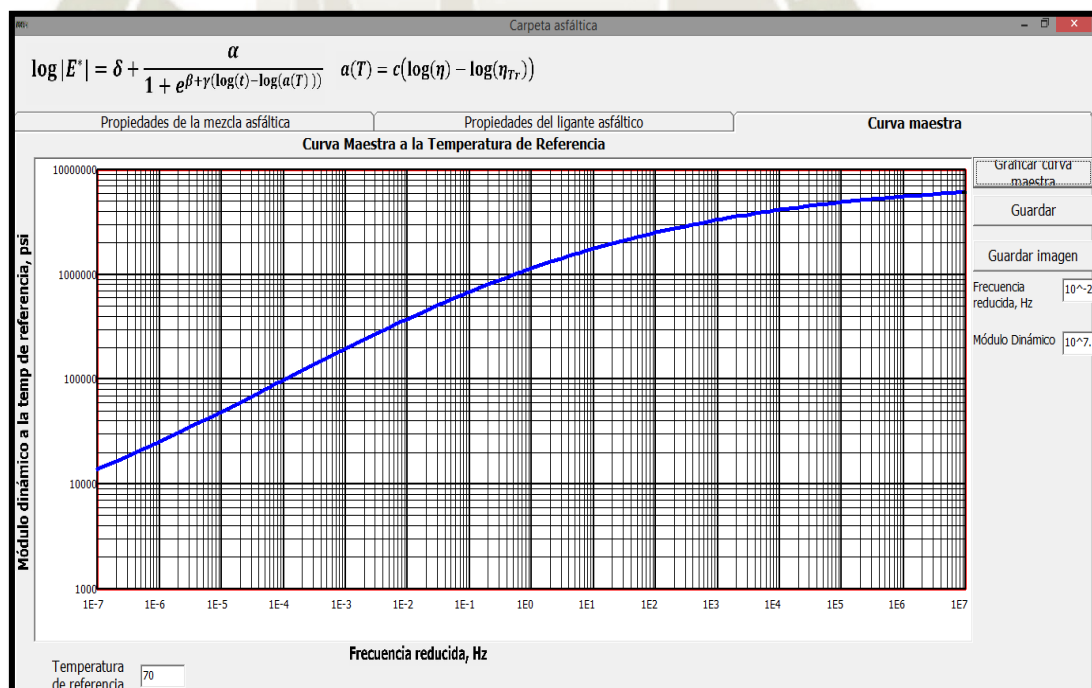
Para el nivel 1, se requieren los resultados del ensayo AASHTO T315 para determinar las propiedades reológicas usando un reómetro dinámico de cizallamiento (DSR). Para el nivel 2 se necesitan ingresar los resultados de penetración, viscosidad Brookfield, punto de ablandamiento, etc.

Para el nivel 3 y el que usaremos, solamente requiere la clasificación del asfalto, ya sea superpave, convencional AC, o el grado de penetración; por lo que usamos las características del expediente técnico, PEN 85-100.

Los datos necesarios para cada uno de los niveles son necesarios para correlacionar los valores A (Intercepto de la regresión para viscosidad de ligantes) y VTS (índice de susceptibilidad térmica).

La tercera pestaña que corresponde a la curva maestra solo mediante un click se grafica la curva maestra y se da la posibilidad de guardar la información y la imagen como se ve en la Gráfico N°8.1.

Gráfico N°8.1. Curva maestra de la mezcla asfáltica.



Fuente: Software CR-ME

8.1.4.2. Base y Subbase granular

La interfaz para las capas de base y subbase granular requiere los mismos datos de entrada; a diferencia que la base incluye un apartado donde se selecciona si la base es estabilizada con cemento o con ligante

Para todos los niveles requiere el espesor de la capa y el número de poisson.

Para el nivel 1 se requieren parámetros obtenidos del ensayo de determinación de succión con el método del papel filtro para obtener la curva característica Suelo-Agua; y los coeficientes obtenidos del modelo universal para el módulo resiliente.

El nivel 2 para el módulo resiliente da la opción de escoger entre el modelo universal o correlación del CBR el cual es calculado con la siguiente fórmula:

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

El nivel 3 usado requiere el porcentaje de pasante de la malla N° 200, el índice plástico y la inserción del CBR o M_R de manera directa. Los datos de gravedad específica y próctor modificado se requieren en los 3 niveles.

Los módulos resilientes a usar, son los obtenidos del retrocálculo realizado con el equipo HWD. En la Tabla N° 8.4.

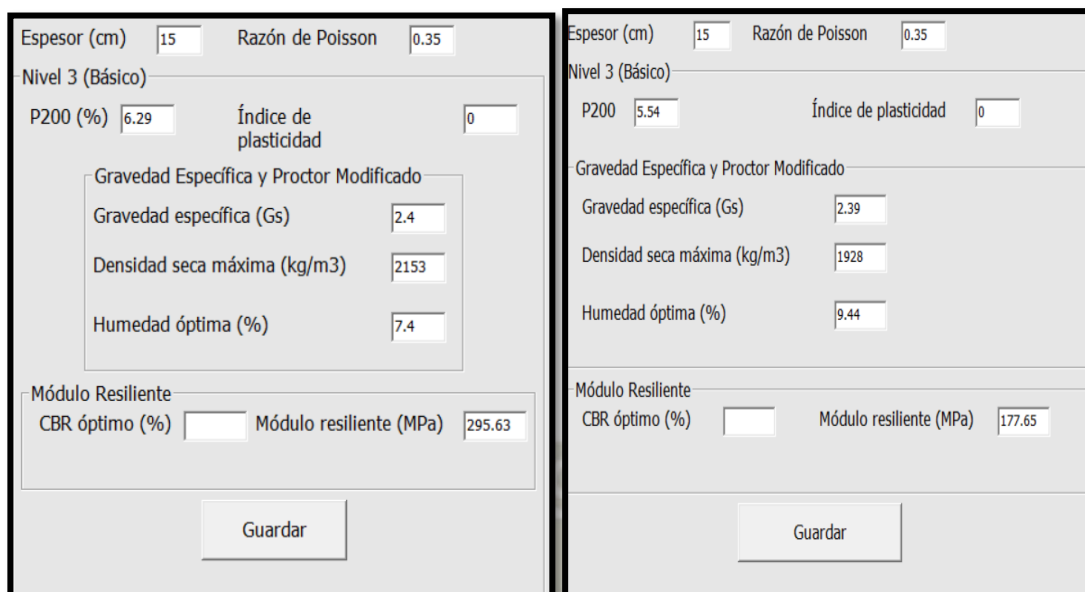
Tabla N°8.4. Módulo resiliente base y subbase

Station	BASE		SUBBASE	
	Módulo corregido	Módulo promedio	Módulo corregido	Módulo promedio
1	297.6	295	198.4	179
2	310		195.3	
3	316.2		198.4	
4	300.7		167.4	
5	248		136.4	

Fuente: Elaboración propia

En la Imagen N°8.6 se muestra la interfaz del programa aplicada a la base y subbase granular.

Imagen N°8.6. Interfaz base y subbase granular



The image displays two side-by-side screenshots of a software interface for entering data for granular base and subbase. Both screens are titled 'Nivel 3 (Básico)'.
 The left screen shows the following data: Espesor (cm) 15, Razón de Poisson 0.35, P200 (%) 6.29, Índice de plasticidad 0, Gravedad específica (Gs) 2.4, Densidad seca máxima (kg/m3) 2153, Humedad óptima (%) 7.4, and Módulo resiliente (MPa) 295.63.
 The right screen shows the following data: Espesor (cm) 15, Razón de Poisson 0.35, P200 (%) 5.54, Índice de plasticidad 0, Gravedad específica (Gs) 2.39, Densidad seca máxima (kg/m3) 1928, Humedad óptima (%) 9.44, and Módulo resiliente (MPa) 177.65.
 Both screens have a 'Guardar' button at the bottom.

Fuente: Software CR-ME

8.1.4.3. Subrasante

Para la subrasante, los datos de entrada son los mismos descritos para bases y subbases granulares. La única diferencia está en que se debe ingresar el valor de la profundidad hasta la roca, en lugar del valor del espesor de la capa.

Tabla N°8.5. Módulo resiliente de la subrasante

Station	Módulo corregido	Módulo promedio
1	129.6	109
2	110.4	
3	115.2	
4	100.8	
5	91.2	

Fuente: Elaboración propia

Imagen N°8.7. Datos entrada para subrasante

Profundidad a la roca firme (m)	2.2	Razón de Poisson	0.35
Nivel 3 (Básico)			
P200	9.11	Índice de plasticidad	0
Gravedad Específica y Proctor Modificado			
Gravedad específica (Gs)	2.437		
Densidad seca máxima (kg/m3)	1843		
Humedad óptima (%)	10.26		
Módulo Resiliente			
CBR óptimo (%)		Módulo resiliente (MPa)	109.21

Fuente: Software CR-ME

8.1.5. Modelos de Predicción o Desempeño

Los modelos incorporados automáticamente son los incorporados en la MEPDG. Sin embargo, el software permite al usuario que introduzca modelos calibrados propios de los materiales de cada país.

Estos modelos permiten predecir el daño por fatiga tanto de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba producido en la carpeta asfáltica y el ahuellamiento producido en cada capa.

El software permite introducir criterios de aceptabilidad del diseño, para cual nos utilizaremos valores de vida útil del diseño pertenecientes a la guía MEPGD 2015, y tomando un valor de confiabilidad de 90%, como se observó en la Tabla N°2.5.

Tabla N°8 6. Criterios de Aceptación CR-ME

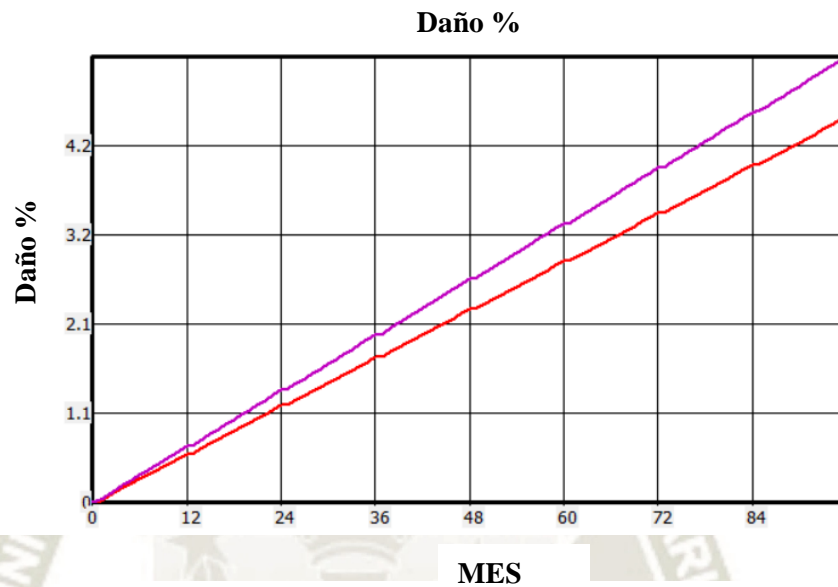
Criterios de Aceptación		
Modelos de desempeño	Valor limite	Confiabilidad
Agrietamiento longitudinal (pies/milla)	1000	90%
Área agrietada (%)	25	90%
Ahuellamiento carpeta asfáltica (mm)	17.5	90%
Ahuellamiento total (mm)	12.7	90%

Fuente: Elaboración propia

8.1.6. Resultados

Después de ingresar todos los datos correspondientes al análisis del pavimento flexible, el software CR-ME nos proporciona los siguientes resultados:

Gráfico N°8.2. Índice de daño por fatiga

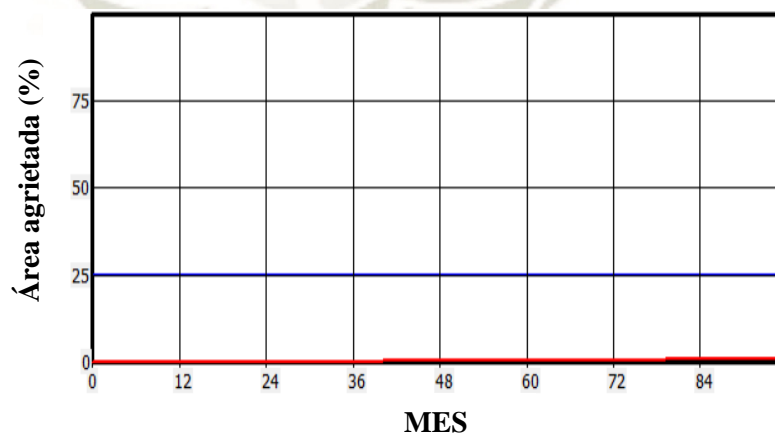


Daño por fatiga de abajo hacia arriba MEPDG = 4.55%

Daño por fatiga de arriba hacia abajo MEPDG = 5.26%

Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°8. 3. Área agrietada (%)

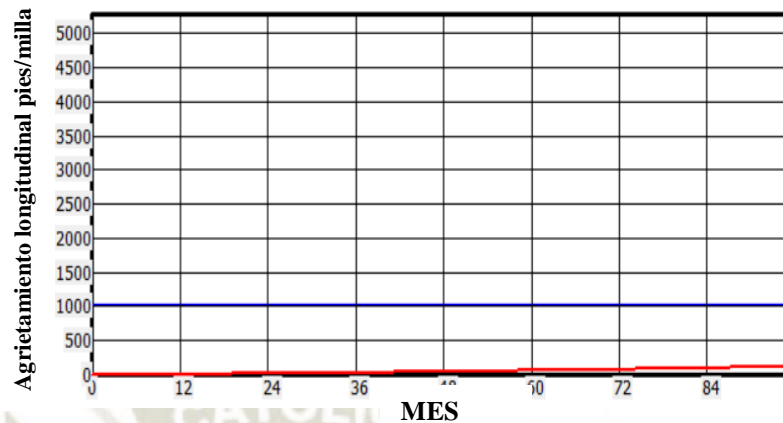


Valor Límite: 25 %

Área agrietada = 0.94%

Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°8.4. Agrietamiento longitudinal (pies/milla)

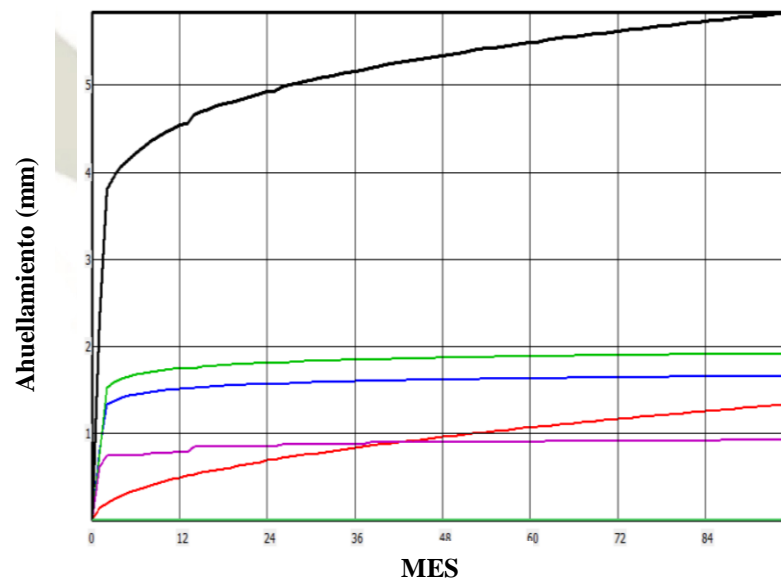


Valor Límite: 1000 pies/milla

Agrietamiento longitudinal = 118.74 pies milla

Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°8.5. Ahuellamiento en la estructura del pavimento



Ahuellamiento total = 5.84mm

Ahuellamiento total en la carpeta = 1.34 mm

Ahuellamiento total en la base = 1.66 mm

Ahuellamiento total en la subbase = 1.92 mm

Ahuellamiento total en la subrasante = 0.92 mm

Fuente: Software CR-ME

8.2. SOFTWARE FPS 21

En la interfaz principal del software ofrece opciones para el diseño de pavimentos, herramienta de análisis de esfuerzos, este último es un programa independiente donde el usuario ingresa las capas estructurales del pavimento y el formato de carga; el programa predice esfuerzos, deformaciones y desviaciones dentro de la estructura del pavimento con hasta siete capas. Las predicciones se pueden hacer para configuraciones de carga de rueda de camiones o FWD simuladas. En la Imagen N°8.8 se puede ver la interfaz principal del software.

Imagen N°8.8. Interfaz principal del software FPS 21



Fuente: Software FPS 21

La inserción de datos es sencilla y dinámica; además se puede acceder a la ayuda colocando F1. Para la inserción de los datos requeridos para el software se divide en dos ventanas principales descritas:

8.2.1. Datos de Diseño básico

- Periodo de análisis de diseño (años), 20 para nuestro caso.
- Tiempo mínimo para recapado (años), se ha considerado el mínimo de 8 para el caso actual del pavimento.
- Tiempo mínimo entre recapado (años), se ha supuesto un tiempo de 2 años.
- Nivel de confiabilidad (A, B, C, D o E), el programa una tabla de guía para establecer el índice de confiabilidad. El nivel de confiabilidad seleccionado B coincide con la ayuda proporcionada por el manual. Además de índices de confiabilidad proporciona espesores aproximados para el diseño.

Tabla N°8.7. Variaciones de datos de salida

Traffic Volume	Confidence Level	Initial SI	Final SI	Surface	Base	Subbase	Initial Performance Period (T1 yr.)	Overlay (in. @ T1)
Low (750,000 ESALs)	A	4.0	2.0	two-course surface treatment (2CST)	6.0 in. flex	6.0 in. Lime Stabilized Subgrade (LSS)	26	---
	B	4.0	2.5	2CST	6.0 in. flex	6.0 in. LSS	18	2.5
Medium (2.5 M ESALs)	B	4.5	2.5	2.0 in. HMA	8.0 in. flex	8.0 in. LSS	13	2.5
	C	4.5	2.5	2.0 in. HMA	11.0 in. flex	8.0 in. LSS	9	2.5
High (7.0 M ESALs)	B	4.5	2.5	3.0 in. HMA	10.0 in. CSB	8.0 in. LSS	20	---
	C	4.5	2.5	3.0 in. HMA	10.0 in. CSB	8.0 in. LSS	11	2.5
	D	4.8	3.0	5.5 in. HMA	10.0 in. CSB	8.0 in. LSS	8	4.5

Fuente: Manual del usuario FPS 21

- Índice de serviciabilidad inicial y final (4.3 y 2.1)
- Índice de serviciabilidad después del recapado (asumido el valor de 4.0)
- Constante de temperatura del distrito (° F), por defecto el programa exige que se coloque 31° F.
- Tasa de interés, este parámetro es para el análisis de costo de vida para descontar gastos futuros por costos de recapado y mantenimiento. Hemos considerado la tasa por defecto de 7% debido a que no aplicaremos el análisis de costo del programa.

8.2.2. Datos de control

- Monto máximo para el inicio de la construcción (\$/yarda cuadrada), para limitar la estrategia de diseño según el costo. Se suele colocar un monto muy elevado (99 \$/yd²) para poder ver todas las combinaciones.
- Espesor máximo de la construcción inicial, igualmente para limitar el diseño. Debido a que no estamos diseñando una nueva estructura, el espesor máximo por defecto cumple con el propuesto por el expediente.

- Espesor máximo de todos los recapado, igualmente como restricción para el diseño.

8.2.3. Datos de tráfico

- TPD inicial, puede ser referido al volumen bidireccional o unidireccional, se usa en conjunto con el TPD final para establecer la tasa de crecimiento del tráfico el cual supone el software como crecimiento lineal. Hemos usado el retrocalculado por el conteo vehicular del 2018 hacia el 2010.

El valor colocado es de 13854 vehículos como TPDA al comienzo.

- TPD final a 20 años, como su nombre lo indica se coloca para un periodo de 20 años, valor independiente si el periodo de diseño es distinto puesto que el software calcula el TPD para el periodo de diseño si este es distinto a 20 años. El valor colocado es de aproximadamente 46000 vehículos tal como se halló en el capítulo 6.

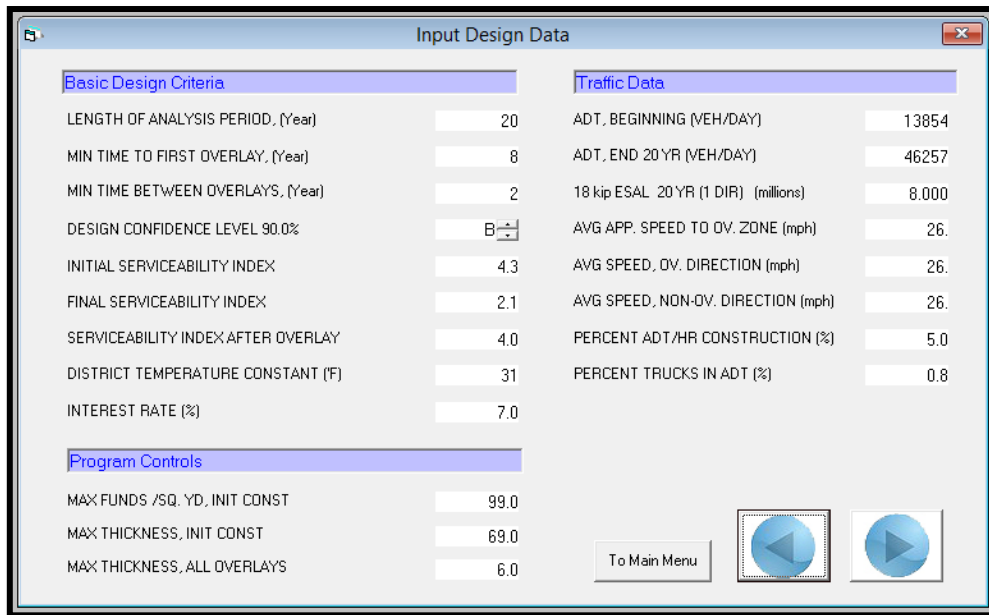
- ESAL de una dirección a 20 años (millones), igualmente colocado para un periodo de 20 años, el software ajusta el ESAL para el periodo de análisis usado.

El valor usado es $8.56 * 10^6$ ejes de 18 kip, tal como se halló en el capítulo 6.

- Velocidad aproximada de la zona de recapado (millas/hora), usada para determinar la demora del usuario de través de la zona de recapado.
- Velocidad promedio en la zona de recapado (millas/hora), este valor debe establecerse igual al anterior, para evitar el cálculo de costos asociados a desvíos.
- Velocidad promedio dirección sin superposición, igual a la velocidad aproximada promedio.

Todas estas velocidades fueron las equivalentes de 42 km/h, que son 26 mph (millas por hora).

Imagen N°8.9. Criterios básicos de diseño



Basic Design Criteria		Traffic Data	
LENGTH OF ANALYSIS PERIOD, (Year)	20	ADT, BEGINNING (VEH/DAY)	13854
MIN TIME TO FIRST OVERLAY, (Year)	8	ADT, END 20 YR (VEH/DAY)	46257
MIN TIME BETWEEN OVERLAYS, (Year)	2	18 kip ESAL 20 YR (1 DIR) (millions)	8.000
DESIGN CONFIDENCE LEVEL 90.0%	B	AVG APP. SPEED TO OV. ZONE (mph)	26.
INITIAL SERVICEABILITY INDEX	4.3	AVG SPEED, OV. DIRECTION (mph)	26.
FINAL SERVICEABILITY INDEX	2.1	AVG SPEED, NON-OV. DIRECTION (mph)	26.
SERVICEABILITY INDEX AFTER OVERLAY	4.0	PERCENT ADT/HR CONSTRUCTION (%)	5.0
DISTRICT TEMPERATURE CONSTANT (F)	31	PERCENT TRUCKS IN ADT (%)	0.8
INTEREST RATE (%)	7.0		
Program Controls			
MAX FUNDS /SQ. YD. INIT CONST	99.0		
MAX THICKNESS, INIT CONST	69.0		
MAX THICKNESS, ALL OVERLAYS	6.0		

Fuente: Interfaz FPS 21

8.2.4. Datos de construcción y mantenimiento

- Espesor mínimo de recapado (pulgadas), dictado por el tamaño máximo nominal del material usado en el recapado.
Colocamos un espesor mínimo de 1.5 pulgadas por motivos de construcción.
- Tiempo de construcción del recapado (horas/día).
- Densidad compactada del pavimento de concreto asfáltico (ton/yd³).
Usada la equivalente a 2.38 ton/m³ que es 1.82 ton/yd³.
- Tasa de producción del pavimento de concreto asfáltico (ton/h).
- Ancho de carril (pies).
Se colocó el equivalente para 3m que es 9.9 pies.
- Costo del primer año de mantenimiento rutinario (\$)
- Incremento anual en el costo de mantenimiento (\$), es un ajuste al costo inicial del mantenimiento del primer año, donde se asume un crecimiento lineal.
Para aquellos valores no especificados se utilizaron los valores por defecto, debido a que no se analizará la productividad, el ritmo y los costos.

8.2.5. Datos de desvío para recapado

- Modelo de desvío durante recapado, hay 5 modelos diferentes en el programa para manejar el tráfico durante las recapado.
- Número total de carriles, incluye todos los carriles en ambas direcciones.
- Número de carriles abiertos en dirección de la recapado, depende del modelo escogido anteriormente.
- Número de carriles abierto en dirección sin recapado, de igual manera depende del modelo de desvío escogido.
- Distancia de retraso en dirección del desvío, se usa para calcular el tiempo de retraso del desvío.
- Distancia de retraso en dirección sin desvío.

El modelo de desvío planteado fue de 1 solo carril de interrupción y otra que soporta el tránsito acumulado de 2 carriles. Los datos como distancia de retraso, fueron supuestos como las mínimas.

8.2.6. Tipos de diseño

Se puede escoger varios diseños predeterminados de estructuras de pavimento, como superficies tratadas, bases estabilizadas con asfalto, subrasante estabilizada, y recapado sobre carpeta asfáltica. La 7ma opción permite al usuario definir el número de capas (comprendido de 4 a 7) y además escoger el orden y cada una de las capas de entre las anteriores mencionadas incluyendo además superficies superpave, pavimento con mezclas en tibio, bases estabilizadas con cemento, etc. Las grandes variedades de capas que otorga el programa proporcionan valores de módulos como referencia, además de sus respectivos módulos de poisson.

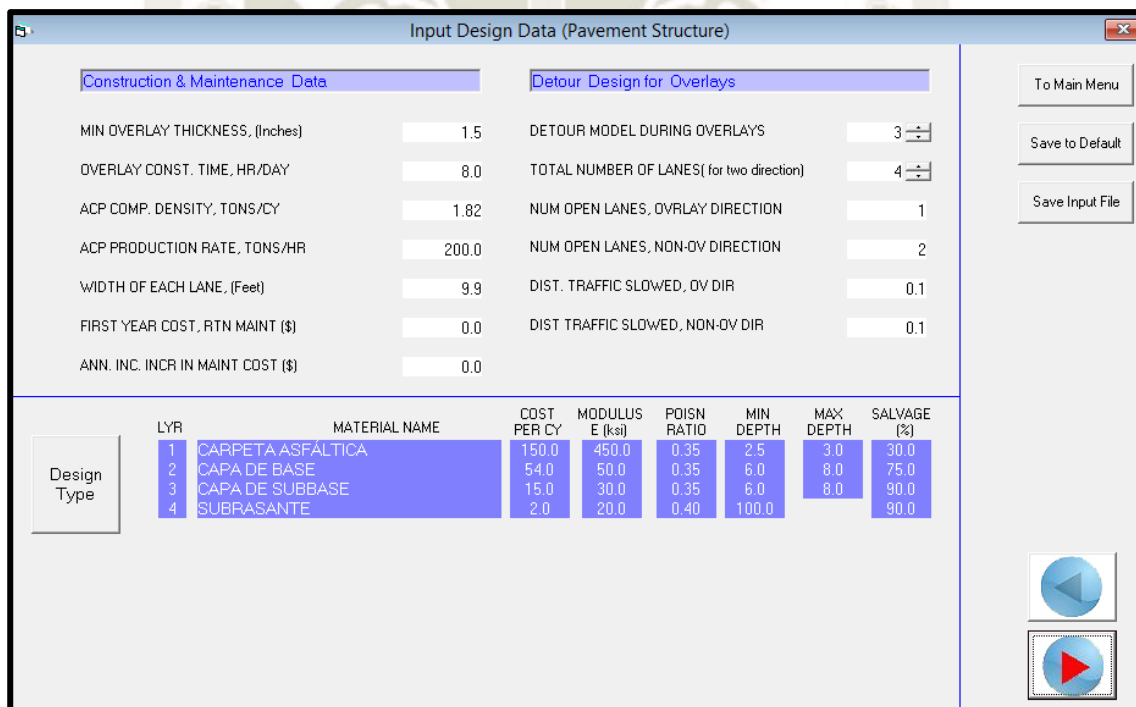
En la tabla de inserción de datos del programa, se mantuvieron por defecto los valores de costo por yarda cúbica, y rescate (% de material recuperable). Se mantuvo los mismos valores para los coeficientes de poisson que se usaron para el retrocálculo y los valores de módulo de capa se obtuvieron de la conversión de los resultados de las tablas N° 5.22, 8.4 y 8.5 para carpeta, base y subbase, subrasante respectivamente. La capa de subrasante equivale a 79 pulgadas de espesor según el retrocálculo, y se subió hasta 100 pulgadas porque el cálculo directo de estimación de profundidad de capa rígida nos dio una distancia mínima de dicha profundidad.

Tabla N°8.8. Valores de Módulos para FPS 21

	Módulo Promedio	
	Mpa	ksi
Carpeta Asfáltica	3000	435
Capa de Base	300	44
Capa de Subbase	180	26
Suelo de Subrasante	110	16

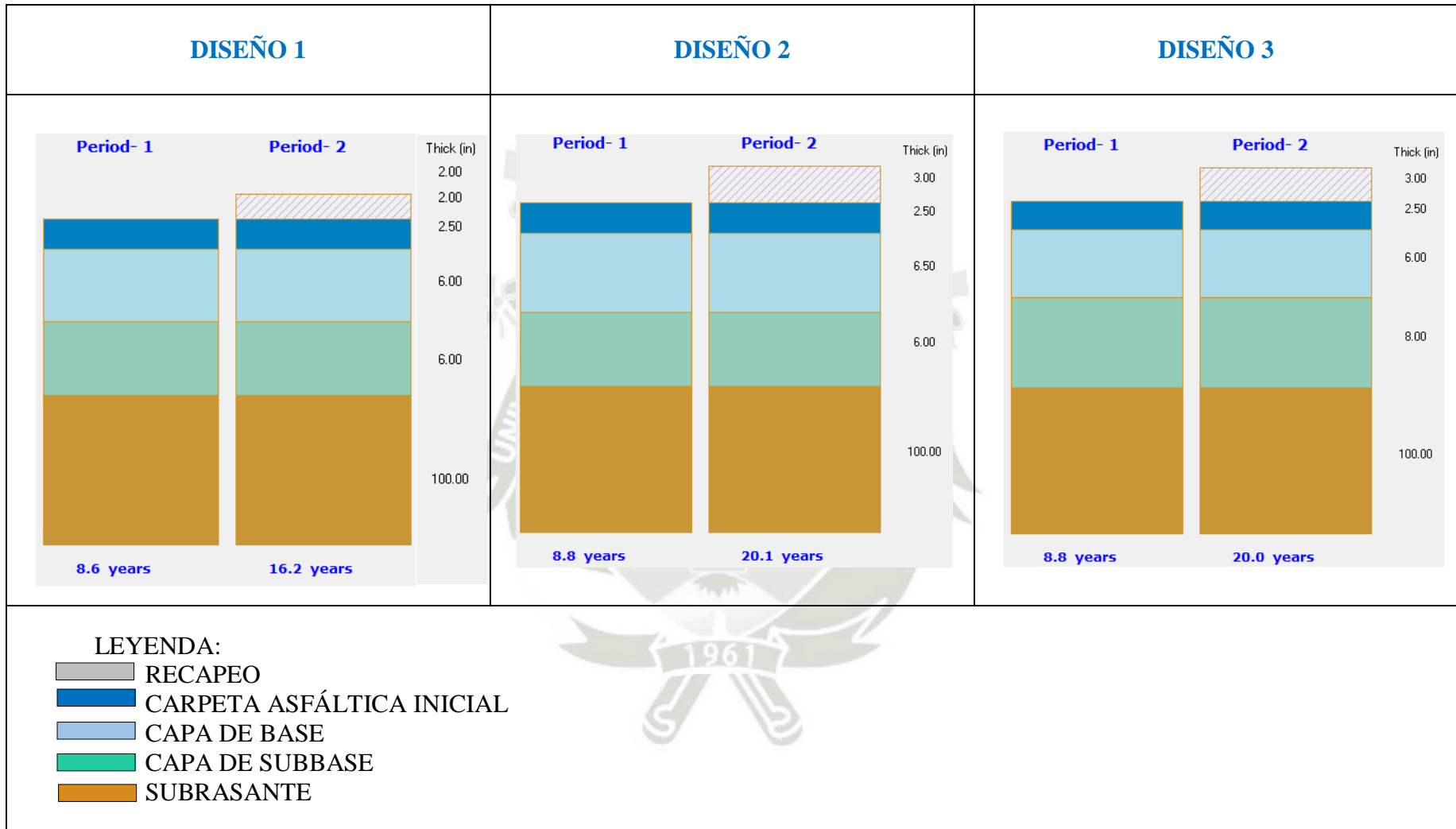
Fuente: Elaboración Propia

Imagen N°8.10. Interfaz de construcción, mantenimiento y estructura



Fuente: Manual del usuario FPS 21

Seguido esto el programa corre y presenta los posibles diseños, el costo por unidad de yarda cúbica de cada uno, los espesores de cada una de las capas de cada propuesta, el número de periodos de mejora, el año en que se debe hacer el recapado y el espesor de este. A continuación, se muestra las propuestas de diseño obtenidas por el programa:



El diseño que se acerca a nuestro caso sería el 1ro que consta de 2.5 pulgadas de carpeta asfáltica, 6 pulgadas de material de base y 6 pulgadas de material de subbase. Por lo que será este diseño el que analizaremos por el programa. El programa solo analiza la primera estructura original planteada debido a que analizarla utilizando los modelos mecanicistas luego del primer y/o segundo recapado sería muy complicado. Una vez obtenidos los diseños, estos pueden ser observados por:

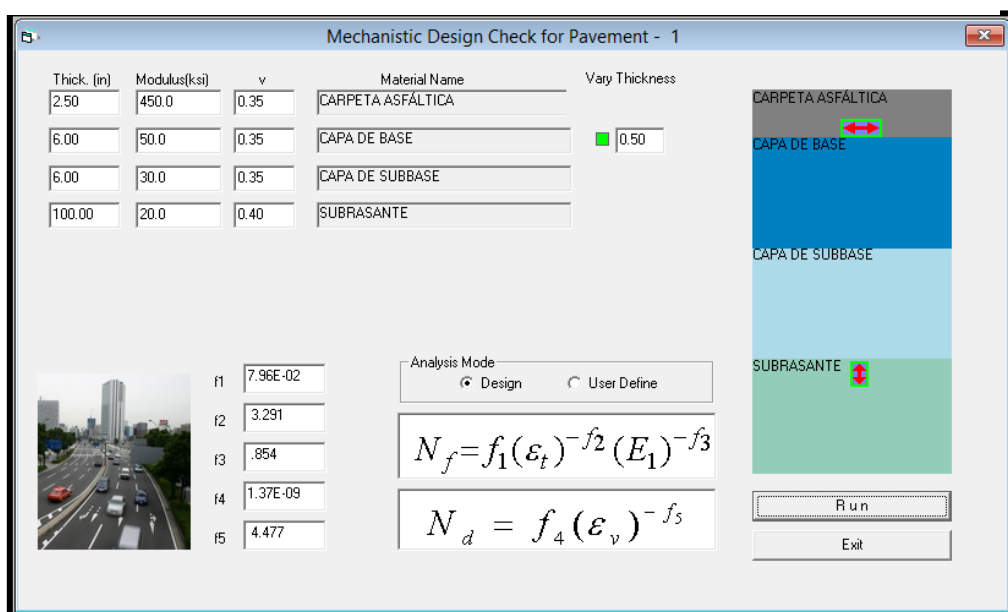
- Revisión Mecanística
- Revisión Triaxial
- Análisis de esfuerzos

A continuación, solo detallamos la revisión mecanística:

Esta sección nos permite conocer si el primer periodo de rendimiento del pavimento es menor al periodo de vida útil calculado por el programa. El programa permite calcular los esfuerzos de compresión en la parte superior de la subrasante. Además de los esfuerzos de tracción horizontal (que son calculados en la parte más baja de las capas bituminosas).

Además, presenta las funciones y los factores para el cálculo de fisuramiento y ahuellamiento, estos valores **no serán calibrados debido a que sería una calibración irreal, aplicada a una estructura con factores térmicos distintos y sin criterios de aceptación definidos por el usuario.**

Imagen N°8. 11. Interfaz de revisión mecanístico del diseño



Fuente: Elaboración propia

El software además permite escoger distintos modelos de predicción, según:

i. Fisuramiento:

Agencia	Ecuación: $N_f = f_1 * (\epsilon_t)^{-f_2} * (E_1)^{-f_3}$
Instituto del Asfalto (20% área fis.)	$N_f = 0.0796 * (\epsilon_t)^{-3.291} * (E_1)^{-0.854}$
Ecuación de Shell	$N_f = 0.0685 * (\epsilon_t)^{-5.671} * (E_1)^{-2.363}$
Departamento de transporte de Illinois	$N_f = 5 * 10^{-6} * (\epsilon_t)^{-3}$
Lab. de Investigación de Transporte y Carreteras de Reino Unido	$N_f = 1.66 * 10^{-10} * (\epsilon_t)^{-4.32}$
Centro de Investigación de Carreteras Belgas	$N_f = 4.92 * 10^{-14} * (\epsilon_t)^{-4.76}$

ii. Ahuellamiento:

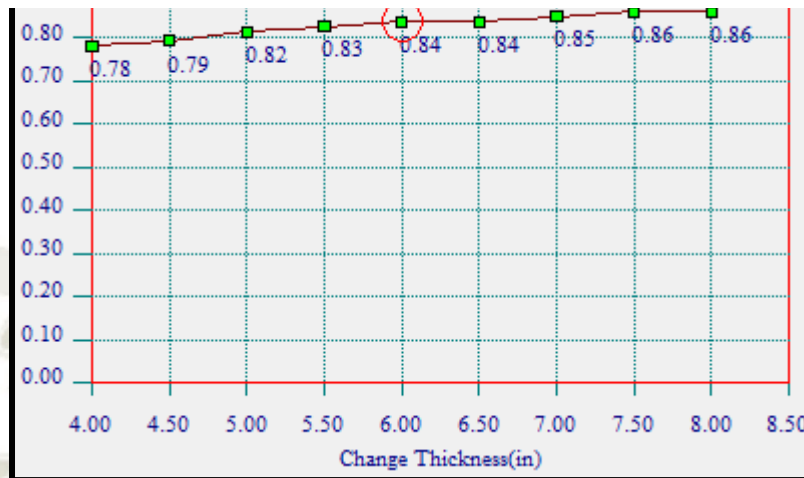
Agencia	Ecuación: $N_d = f_1 * (\epsilon_v)^{-f_2} * (E_1)^{-f_3}$
Instituto del Asfalto (ahuell de 0.5 pulg)	$N_d = 1.365 * 10^{-9} * (\epsilon_v)^{-4.477}$
Ecuación de Shell (85 % de conf.)	$N_d = 1.94 * 10^{-7} * (\epsilon_v)^{-4}$
Ecuación de Shell (95 % de conf.)	$N_d = 1.05 * 10^{-7} * (\epsilon_v)^{-4}$
Lab. de Investigación de Transporte y Carreteras de Reino Unido (85% de conf., 0.5 ahuell)	$N_d = 6.18 * 10^{-8} * (\epsilon_t)^{-3.95}$
Centro de Investigación de Carreteras Belgas	$N_d = 4.05 * 10^{-9} * (\epsilon_t)^{-4.35}$

Por defecto el programa utiliza las ecuaciones del Instituto del Asfalto. Como limitación para estas ecuaciones, plantea directamente el 20% de área fisurada y 0.5 pulgadas de ahuellamiento sin posibilidad a ser escogida por el usuario.

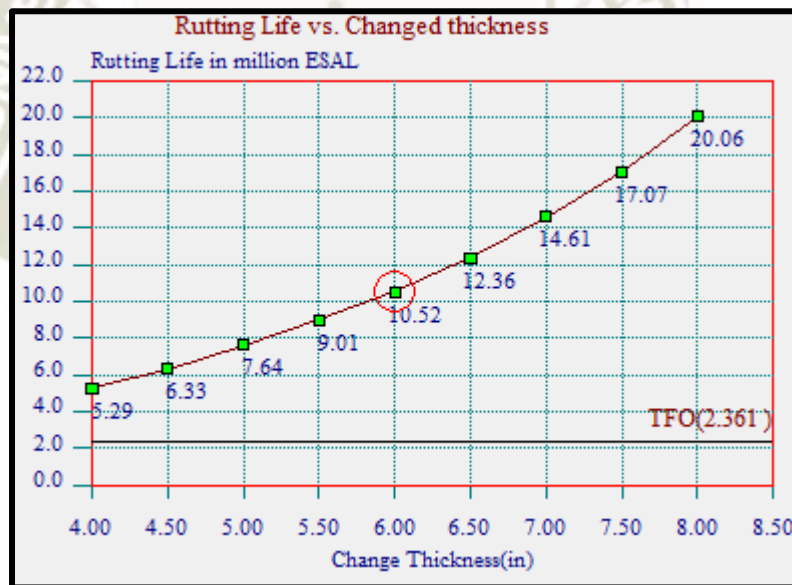
Los resultados dados por el programa se encuentran en ejes de repeticiones de carga (ESAL en millones), el programa no cuenta con las ecuaciones de transferencia que permite presentar los resultados en daño por porcentajes o dando valores en unidades como se observó en el CR-ME, no permitiendo comparar con el relevamiento de fallas.

El software nos da gráficas de la vida remanente del pavimento en millones de ESALs para distintos espesores de la capa escogida, una gráfica para el fisuramiento por fatiga y otra de ahuellamiento.

Gráfico N°8. 6. Espesor de base vs vida remanente del pavimento por
Gráfico N°8. 7. Espesor de base vs vida remanente del pavimento por
ahuellamiento (millones de ESALs)



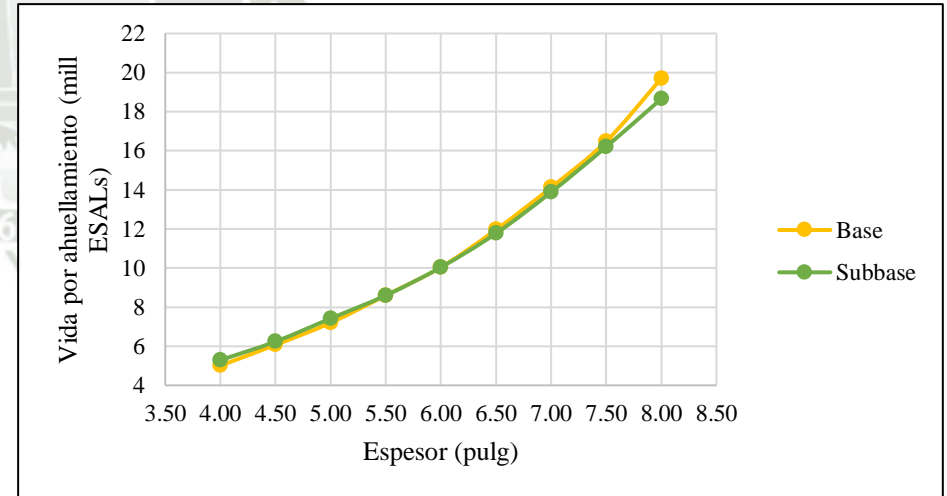
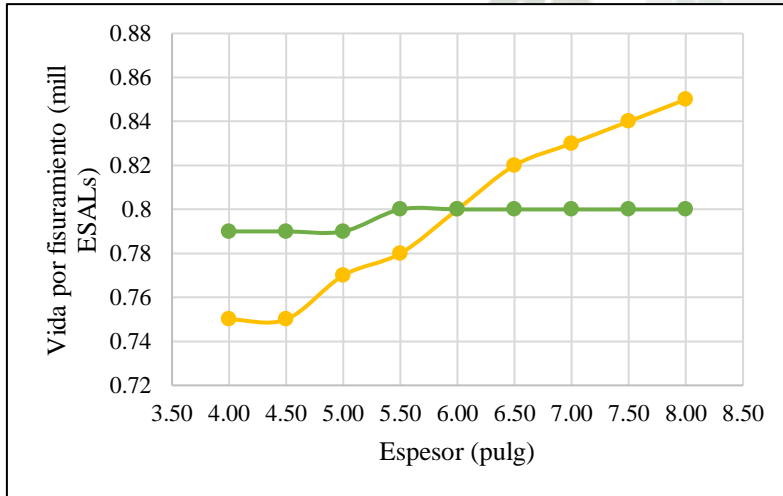
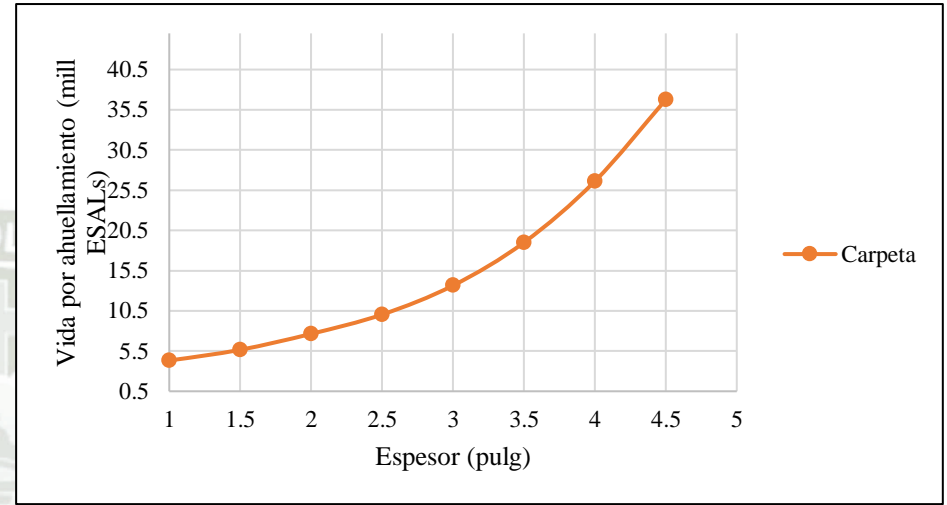
Fuente: Resultados FPS 21



Fuente: Resultados FPS 21

En la siguiente gráfica se muestran los resultados de distintos cambios de espesores para la carpeta, base y subbase ante la vida remanente de fisuramiento por fatiga y ahuellamiento.

Gráfico N°8. 8. Variación de espesor de capa vs vida por fisuramiento, ahuellamiento.



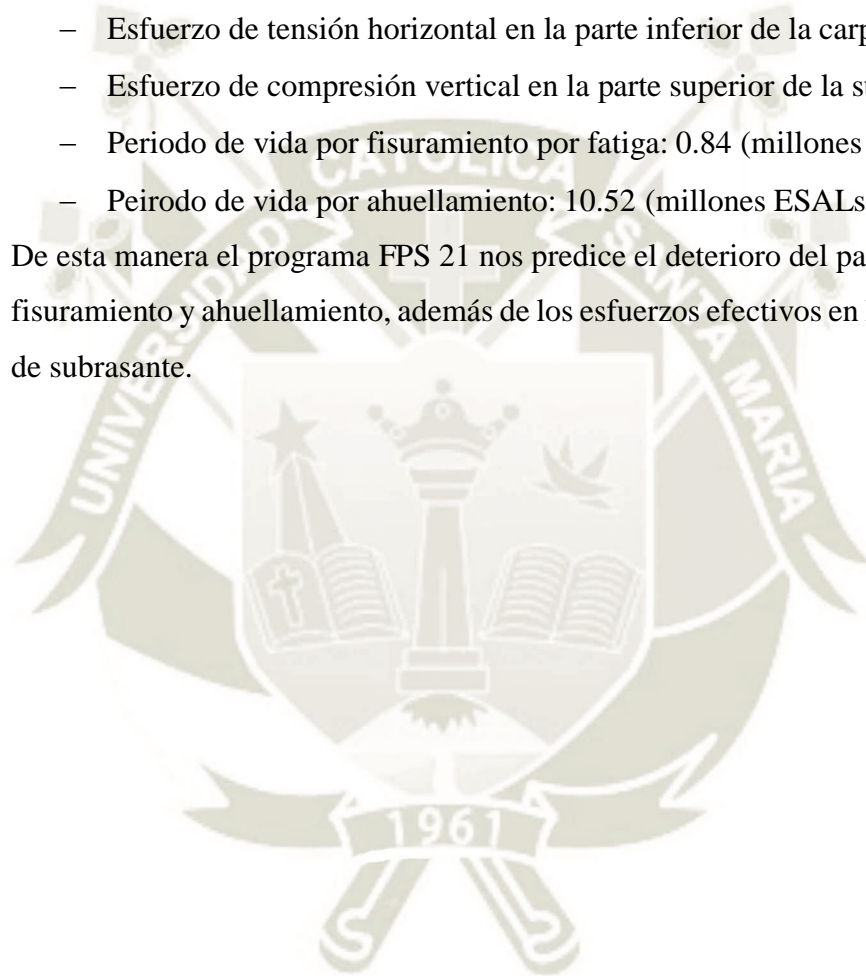
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en las gráficas, el espesor de la carpeta asfáltica aporta en gran medida a la resistencia ante el fisuramiento por fatiga y ahuellamiento, la capa de base en menor medida y la subbase menos.

Los resultados de vida de pavimento son:

- Basado en el periodo de diseño, a los 8.6 años, el tráfico para el primer recapado es: $2.361 \cdot 10^6$ ESALs
- Esfuerzo de tensión horizontal en la parte inferior de la carpeta: 241
- Esfuerzo de compresión vertical en la parte superior de la subrasante: -286
- Periodo de vida por fisuramiento por fatiga: 0.84 (millones ESALs)
- Peirodo de vida por ahuellamiento: 10.52 (millones ESALs)

De esta manera el programa FPS 21 nos predice el deterioro del pavimento frente al fisuramiento y ahuellamiento, además de los esfuerzos efectivos en la carpeta y suelo de subrasante.



CAPITULO IX

9. CALIBRACION PRELIMINAR DE SOFTWARE MECANISTICO-EMPIRICO

9.1. CALIBRACION

Calibrar un modelo de deterioro consiste en definir un procedimiento de cálculo de factores de calibración numéricos, que modifican la predicción del modelo ajustándolo de acuerdo a la información provista por bases de datos de pavimentos de una región o país. Esto se realiza a través de la minimización de la diferencia entre las predicciones del modelo y un conjunto de datos de deterioro medidos en terreno. La calibración de los modelos de deterioro puede realizarse a dos niveles: para un camino o pavimento específico, o bien para un grupo de caminos, es decir calibración a nivel de proyecto y calibración a nivel de red respectivamente.

Como vimos en el diseño mecánico empírico, existe factores de calibración aplicados a los modelos de predicción de deterioro. La guía AASHTOWare Pavement ME Design realizó distintos trabajos de obtención de información de la base de datos de LTPP, complementada con datos obtenidos de la pista de prueba experimental de Minnesota para poder obtener datos necesarios que permitan ejecutar la calibración global. Este software permite ajustar los factores de calibración global o utilizar las constantes de regresión específicas de cada agencia para las funciones de daño para cada tipo de deterioro basado en un conjunto de datos locales y regionales.

Los softwares usados son modelos simplificados de la guía AASHTOWare, lo cual nos permite ajustar los factores de calibración local o regional, para lo cual usaremos los datos obtenidos a través del estudio realizado a la Av. Trinidad Moran Carril derecho.

9.2. COMPARACION DE FALLAS RELEVADAS

Como se observó en el capítulo IV, en la realización del PCI, se pudo obtener el metrado de fallas existentes en la vía de estudio, los cuales compararemos con los resultados obtenidos por el programa.

Es necesario recalcar que los softwares no diferencian la severidad de los daños, es por lo cual se tomara en la totalidad.

Los daños previstos en el Capítulo VIII de los modelos de desempeño son: Agrietamiento de abajo hacia arriba (piel de cocodrilo), agrietamiento de arriba hacia abajo (fisuras longitudinales) y ahuellamiento, los cuales posteriormente se realizará una calibración local.

En la Tabla N°9.1, se obtiene el total de metrado por cada tipo de falla:

Tabla N°9.1. Resumen total de metrado de fallas

	DETERIORO	Metrados			Total	
		Unidad	Leve	Moderado		Severo
1	Piel de cocodrilo	m2	49.79	11.6	61.39	
2	Exudación	m2				
3	Agrietamiento en bloque	m2	1.6	16	17.6	
4	Abultamiento y hundimientos	m				
5	Corrugación	m2				
6	Depresión	m2	2.05		2.05	
7	Grieta de borde	ml	77.47		77.47	
8	Grieta de reflexión de junta	ml				
9	Desnivel carril/berma	ml	89.15		89.15	
10	Grietas Long. Y transversal	ml	99.96	25.56	125.52	
11	Parcheo	m2	372.55	56.33	0.96	429.84
12	Pulimento de Agregados	m2				
13	Huecos	m2	0.01		0.01	
14	Cruce de Vía férrea	m2				
15	Ahuellamiento	m2	29.77		29.77	
16	Desplazamiento	m2				
17	Grieta parabólica	m2				
18	Hinchamiento	m2				
19	Desprendimiento de agregados	m2	25.02		25.02	

Fuente: Elaboración propia

Según el relevamiento de fallas obtenidas podemos obtener el % de Área por falla tipo piel de cocodrilo:

- El Área total de la vía es: 2,678.25 m²
- El área de parcheo total es 429.84m²
- El Área de falla por tipo piel de cocodrilo: 61.39 m²
- El Área analizada sería 2,248.41 m²
- Lo cual el % de Área agrietada por falla por fatiga (Piel de cocodrilo) sería **2.73%**.

Según el relevamiento de fallas de grietas longitudinales y transversales, solo necesitaremos las grietas longitudinales.

- Las grietas longitudinales son 27.93m en una distancia de 0.43km, para lo cual necesitamos obtener el valor por km.
- El valor de Agrietamiento longitudinal:

$$27.93 \text{ m}/0.43\text{km} = \mathbf{64.95\text{m/km}}$$

- Agrietamiento longitudinal en pies/milla:

$$64.95 = \mathbf{342.85 \text{ pies/milla}}$$

Según el relevamiento de fallas, para poder clasificar la severidad del daño por ahuellamiento, se realizó toma de medidas por cada unidad de muestreo, tomando la más crítica, se presenta a continuación:

Tabla N°9.2. Medidas de Ahuellamiento

Unidad de muestreo	Ahuellamiento (mm)
1	5
2	6
3	8 (intersección)
4	6
5	6
6	3
7	6.5
8	6
9	6.5
10	6
11	3

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°9.3 podemos observar los resultados obtenidos del software CR-ME, y los obtenidos en campo

Tabla N°9.3. Comparación de resultados

Tipo de Falla	PCI	und	CR-ME	und
Piel de cocodrilo	2.73	%	0.94	%
Agrietamiento longitudinal	343.85	pies/milla	118.74	pies/milla
Ahuellamiento total	6.5	mm	5.84	mm

Fuente: Elaboración propia

9.3. ECUACIONES DE MODELOS DE PREDICCIÓN

9.3.1. Análisis de sensibilidad de ecuación de agrietamiento relacionado a la carga

$$N_{f-HMA} = k_{f1} (C) (C_H) \beta_{f1} (\varepsilon_t)^{k_{f2}\beta_{f2}} (E_{CA})^{k_{f3}\beta_{f3}} \quad \text{Ec.9.1}$$

Donde:

N_{f-HMA} = Numero de repeticiones de carga por eje para un pavimento flexible y recapados de mezcla asfáltica en caliente (Hot mix asphalt)

ε_t = Deformación unitaria por tensión en lugares críticos y calculados por el modelo respuesta estructural

E_{CA} = Modulo dinámico del HMA.

k_{f1}, k_{f2}, k_{f3} = Coeficientes de calibración global en campo MEPGD ($k_{f1} = 0.007566$, $k_{f2} = -3.9492$, $k_{f3} = -1.281$)

$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$ = Constantes de calibración de campo especifica local, para el esfuerzo de calibración global, estas constantes fueron establecidas en 1.0

La constante C depende de la siguiente ecuación:

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84 \left(\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right)$$

Donde:

V_{be} = Contenido de asfalto efectivo

V_a = Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica

La constante C_H que se define como el factor de corrección de espesor, depende del tipo de agrietamiento sea por fatiga o por agrietamiento longitudinal.

Con propósitos de calibración afectaremos los valores $\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$; siendo de constantes de calibración local:

- Modificando el β_{f1} afectamos directamente el resultado en general.
- Modificando el β_{f2} afectamos la deformación
- Modificando el β_{f3} afectamos al módulo.

9.3.1.1. Agrietamiento de abajo hacia arriba (piel de cocodrilo)

Asume que el fisuramiento tipo piel de cocodrilo o fisuras de área se inician en la parte inferior de las capas asfálticas y se propagan a la superficie con el tráfico continuo de camiones.

El valor de C_H se puede obtener a través de la siguiente formular:

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49 h_{AC})}}}$$

Donde:

h_{AC} = Espesor total de la mezcla asfáltica.

9.3.1.2. Agrietamiento de arriba hacia abajo (fisuras longitudinales)

Asume que el fisuramiento tipo piel de cocodrilo o fisuras de área se inician en la parte inferior de las capas asfálticas y se propagan a la superficie con el tráfico continuo de camiones.

El valor de C_H se puede obtener a través de la siguiente formular:

$$C_H = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186 h_{AC})}}}$$

Donde:

h_{AC} = Espesor total de la mezcla asfáltica.

Con estas fórmulas se puede hallar el daño incremental, el Software CR-ME nos proporciona este valor tanto, para el agrietamiento de arriba hacia abajo, como de abajo hacia arriba.

$$DI = \sum (\Delta DI) = \sum \left(\frac{n}{N_{f-HMA}} \right)$$

n = Número real de repetición de carga por eje dentro de un periodo de tiempo específico

N_{f-HMA} = Numero de repeticiones de carga por eje para un pavimento flexible y recapados de mezcla asfáltica en caliente (Hot mix asphalt)

El área de fisuramiento por tipo piel de cocodrilo y la longitud de fisuramiento se calculan por daño a través por el tiempo, para lo cual se utilizará las siguientes fórmulas de funciones de transferencia:

$$FC_{Bottom} = \left(\frac{1}{60}\right) \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 C_1^* C_2 C_2^* \text{Log}(DI_{Bottom} * 100))}}\right)$$

FC_{Bottom} = Área de fisuramiento tipo piel de cocodrilo (fatiga) que inicia en la parte inferior de las capas de HMA,

DI_{Bottom} = Índice de daño acumulado en la parte inferior.

C_1, C_2, C_4 = Constantes de regresión de la función transferencia; $C_4 = 6,000, C_2 = 1.00, C_1 = 1.00$.

$$C_1^* = -2C_2^*$$

$$C_2^* = -2.40874 - 39.748 (1 + H_{HMA})^{-2.856}$$

$$FC_{Top} = 10.56 \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 - C_2 \text{Log}(DI_{Top}))}}\right)$$

Donde:

FC_{Top} = Longitud de fisuras longitudinales que inician en la parte superior

DI_{Top} = Índice de daño acumulado en la parte superior.

C_1, C_2, C_4 = Constantes de regresión de la función transferencia; $C_1 = 7.00, C_2 = 3.5, C_4 = 1,000$.

Con la **Ec. 9.1**, realizaremos la calibración de daño por fatiga; como se observa existen dos tipos de factores de calibración: global y local.

Los factores de calibración global proporcionados por la MPGED son valores que no se modificaran.

Los factores de calibración local son los que modificaremos para obtener resultados cercanos de acuerdo a lo obtenido.

En la Tabla N°9.4, se puede observar los resultados del daño por fatiga (piel de cocodrilo y Agrietamiento longitudinal) en la cual se modificó el

coeficiente $\beta f1$, manteniendo constantes los coeficientes $\beta f2$ y $\beta f3$ y los factores de calibración global en las fórmulas de daño por fatiga, así como en las constantes de regresión de las funciones de transferencia.

Cuando el valor del coeficiente $\beta f1$ es más cercano a cero los valores de las fallas (agrietamiento longitudinal, piel de cocodrilo) aumentan, y mientras el valor del coeficiente $\beta f1$ sea mayor a uno los valores de las fallas tendrán una tendencia a cero.

Tabla N°9.4. Resultados modificando el Bf1

Análisis de Sensibilidad de Daño de fisuramiento relacionado a la carga				
Coeficientes de Calibración			Tipo de Falla	
$\beta f1$	$\beta f2$	$\beta f3$	Agrietamiento longitudinal (pies/milla)	Piel de cocodrilo %
0.05	1.0	1.0	5482.09	46.4
0.1	1.0	1.0	2981.17	23.31
0.2	1.0	1.0	1226.87	9.7
0.25	1.0	1.0	904.18	7.13
0.3	1.0	1.0	669.83	5.51
0.35	1.0	1.0	561.41	4.42
0.4	1.0	1.0	462.8	3.65
0.45	1.0	1.0	389.74	3.07
0.5	1.0	1.0	333.89	2.63
0.6	1.0	1.0	255.02	2.01
0.7	1.0	1.0	202.77	1.6
0.8	1.0	1.0	166.11	1.32
0.9	1.0	1.0	139.024	1.1
1.0	1.0	1.0	118.74	0.94
1.5	1.0	1.0	65.25	0.36

Fuente: Software CR-ME

En la Tabla N°9.5 , se puede observar los resultados del daño por fatiga (piel de cocodrilo y Agrietamiento longitudinal) en el cual se modificó el coeficiente $\beta f2$, manteniendo constantes los coeficientes $\beta f1$ y $\beta f3$.

Al modificar el coeficiente $\beta f2$, los resultados de (agrietamiento longitudinal, piel de cocodrilo) aumentan de forma muy sensible, variando el coeficiente en centésimas en este caso de un rango de 1 a 0.9. En el caso de valores mayores a uno los resultados tienden al valor de cero.

Tabla N°9.5. Resultados modificando el Bf2

Análisis de Sensibilidad de Daño de fisuramiento relacionado a la carga				
Coeficientes de Calibración			Tipo de Falla	
			Agrietamiento longitudinal (pies/milla)	Piel de cocodrilo %
$\beta f1$	$\beta f2$	$\beta f3$		
1.0	0.90	1.0	7378.19	65.33
1.0	0.91	1.0	6090.36	52.62
1.0	0.92	1.0	4695.59	39.56
1.0	0.93	1.0	3378.8	27.83
1.0	0.94	1.0	2287.23	18.52
1.0	0.95	1.0	1475.88	11.81
1.0	0.96	1.0	920.31	7.32
1.0	0.97	1.0	560.97	4.45
1.0	0.98	1.0	337.03	2.67
1.0	0.99	1.0	200.69	1.59
1.0	1.0	1.0	118.74	0.94
1.0	1.01	1.0	70.18	0.56
1.0	1.02	1.0	41.35	0.33
1.0	1.03	1.0	24.34	0.19
1.0	1.04	1.0	14.32	0.11

Fuente: Software CR-ME

En la Tabla N°9.6, se puede observar los resultados del daño por fatiga (piel de cocodrilo y Agrietamiento longitudinal) en el cual se modificó el coeficiente $\beta f3$, manteniendo constantes los coeficientes $\beta f1$ y $\beta f2$.

Al igual que el coeficiente $\beta f2$, al modificar el $\beta f3$ con variaciones de céntimas los resultados (agrietamiento longitudinal, piel de cocodrilo) aumentan de una forma sensible cuando es mayor a 1, y mientras el valor del coeficiente $\beta f3$ sea menor a uno, los resultados tienden a aproximarse a cero.

Tabla N°9.6. Resultados modificando el Bf3

Análisis de Sensibilidad de Daño de fisuramiento relacionado a la carga				
Coeficientes de Calibración			Tipo de Falla	
			Agrietamiento longitudinal (pies/milla)	Piel de cocodrilo %
$\beta f1$	$\beta f2$	$\beta f3$		
1.0	1.0	1.15	4750.74	39.67
1.0	1.0	1.12	2714.61	21.99
1.0	1.0	1.10	1735.2	13.81
1.0	1.0	1.09	1360.26	10.78
1.0	1.0	1.08	1056.63	8.35
1.0	1.0	1.07	814.78	6.43
1.0	1.0	1.06	624.64	4.92
1.0	1.0	1.05	476.71	3.76
1.0	1.0	1.04	362.53	2.86
1.0	1.0	1.03	274.95	2.17
1.0	1.0	1.02	208.1	1.65
1.0	1.0	1.0	118.74	0.94
1.0	1.0	0.98	67.44	0.54
1.0	1.0	0.95	28.78	0.23

Fuente: Software CR-ME

En la Tabla N°9.7 se presenta un resumen de la variación del daño por piel de cocodrilo expresada en porcentaje de acuerdo a cada coeficiente de calibración local.

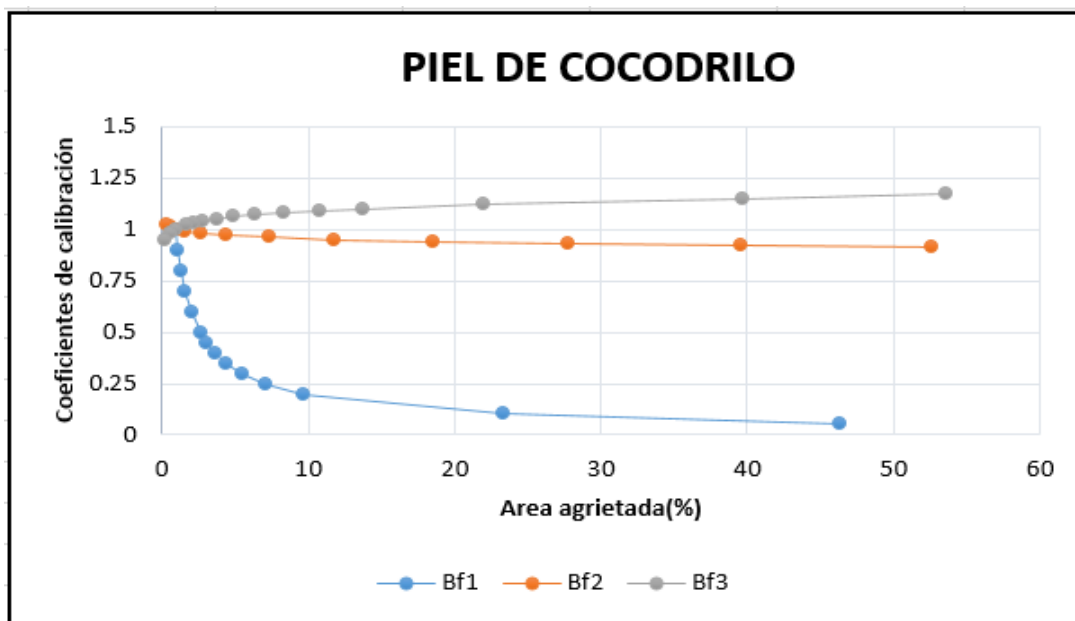
El resultado obtenido de la vía de estudio es **2.73%**

Tabla N°9.7. Resumen de Variación por falla tipo piel de cocodrilo

Piel de cocodrilo (%)					
$\beta f1$	Resultados	$\beta f2$	Resultados	$\beta f3$	Resultados
0.1	23.31	0.90	65.33	1.12	21.99
0.2	9.7	0.91	52.62	1.10	13.81
0.25	7.13	0.92	39.56	1.09	10.78
0.3	5.51	0.93	27.83	1.08	8.35
0.35	4.42	0.94	18.52	1.07	6.43
0.4	3.65	0.95	11.81	1.06	4.92
0.45	3.07	0.96	7.32	1.05	3.76
0.5	2.63	0.97	4.45	1.04	2.86
0.6	2.01	0.98	2.67	1.03	2.17
0.7	1.6	0.99	1.59	1.02	1.65
0.8	1.32	1.0	0.94	1.0	0.94
0.9	1.1	1.01	0.56	0.98	0.54
1.0	0.94	1.02	0.33	0.95	0.23

Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.1. Variación del daño tipo piel de cocodrilo



Fuente: Elaboración propia

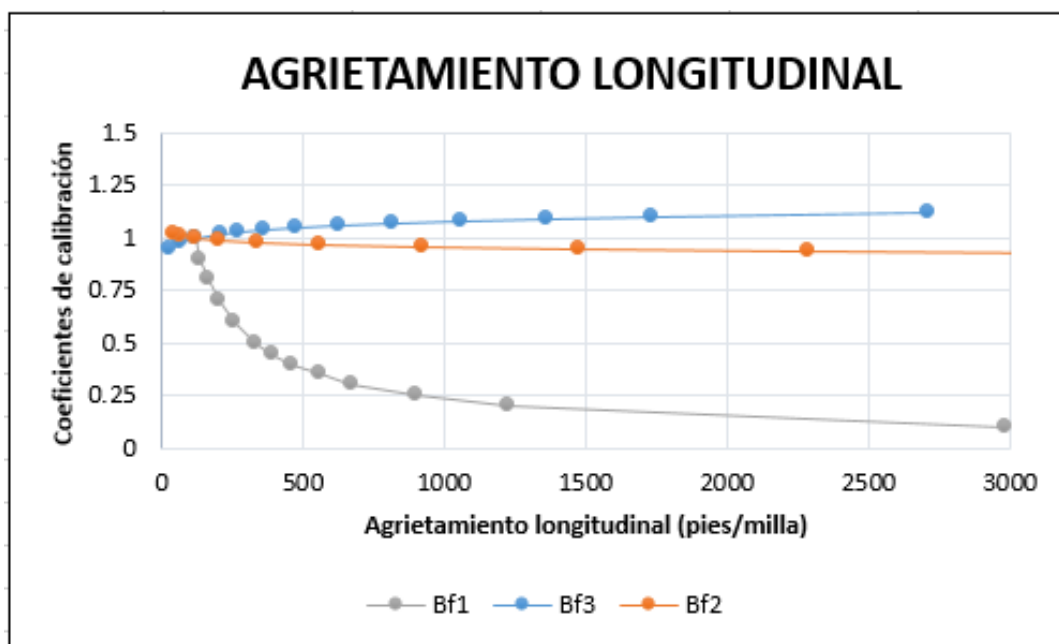
En la Tabla N°9.8, se presenta un resumen de la variación del daño por agrietamiento longitudinal expresada en porcentaje de acuerdo a cada coeficiente de calibración local.

Tabla N°9.8. Resumen de Variación agrietamiento longitudinal

Arietamiento longitudinal (pies/milla)					
$\beta f1$	Resultados	Bf2	Resultados	Bf3	Resultados
0.1	2981.17	0.90	7378.19	1.12	2714.61
0.2	1226.87	0.91	6090.36	1.10	1735.2
0.25	904.18	0.92	4695.59	1.09	1360.26
0.3	669.83	0.93	3378.8	1.08	1056.63
0.35	561.41	0.94	2287.23	1.07	814.78
0.4	462.8	0.95	1475.88	1.06	624.64
0.45	389.74	0.96	920.31	1.05	476.71
0.5	333.89	0.97	560.97	1.04	362.53
0.6	255.02	0.98	337.03	1.03	274.95
0.7	202.77	0.99	200.69	1.02	208.1
0.8	166.11	1.0	118.74	1.0	118.74
0.9	139.024	1.01	70.18	0.98	67.44
1.0	118.74	1.02	41.35	0.95	28.78

Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.2. Variación del daño tipo agrietamiento longitudinal



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las tablas y gráficas podemos analizar de manera individual el comportamiento al modificar los coeficientes de calibración, obteniendo los valores más cercanos en la Tabla N°9.9.

Tabla N°9.9. Coeficientes de calibración más cercanos

Coeficientes de calibración		Tipo de Falla	
		Piel de cocodrilo (%)	Agrietamiento longitudinal (pies/milla)
$\beta f1$	0.45	3.07	389.74
$\beta f1$	0.5	2.63	333.89
$\beta f2$	0.97	4.45	560.97
$\beta f2$	0.98	2.67	337.03
$\beta f3$	1.04	2.86	362.53
$\beta f3$	1.05	3.76	476.71

Fuente: Software CR-ME

Para la elección del coeficiente de calibración preliminar, se tomará un coeficiente que se acerque lo más posible a los valores del relevamiento de fallas, el coeficiente elegido será:

$$\beta f2 = 0.98$$

9.3.2. Análisis de sensibilidad de la ecuación de Ahuellamiento

$$\Delta_{p(CA)} = \beta_{r1} k_z \varepsilon_r (CA) 10^{k_{1r}} n^{k_{2r}} \beta_{r2} T^{k_{3r}} \beta_{r3} h_{CA} \quad \text{Ec.9.2}$$

Donde:

- n = Número de repeticiones de carga por eje
- ε_r = Deformación unitaria resiliente.
- h_{CA} = Espesor de la capa asfáltica.
- T = Temperatura de la capa
- k_{1r}, k_{2r}, k_{3r} = Coeficientes de calibración global en campo MEPGD ($k_{1r} = -3.35412$, $k_{2r} = 0.4791$, $k_{3r} = 1.5606$)
- $\beta_{r1}, \beta_{r2}, \beta_{r3}$ = Constantes de calibración de campo especifica local, para el esfuerzo de calibración global, estas constantes fueron establecidas en 1.0

La constante k_z depende de la siguiente ecuación:

$$k_z = (C_1 + C_2 D) 0.328196^D$$

$$C_1 = -0.1039 (h_{CA})^2 + 2.4868 h_{CA} - 17.342$$

$$C_2 = 0.0172 (h_{CA})^2 - 1.7331 h_{CA} + 27.428$$

Donde:

D = Profundidad debajo de la superficie

- Modificando el β_{r1} afectamos directamente el resultado en general.
- Modificando el β_{r2} afectamos al número de repeticiones de carga.
- Modificando el β_{r3} afectamos la temperatura.

Teniendo en cuenta la ecuación 9.2 realizaremos una modificación de los coeficientes de calibración local, y ver la sensibilidad de cada coeficiente en el resultado, y con el valor de ahuellamiento del relevamiento de fallas realizar la calibración.

En la Tabla N°9.10 se puede observar los resultados después de modificar el coeficiente Br1, manteniendo constantes los coeficientes Br2 y Br3.

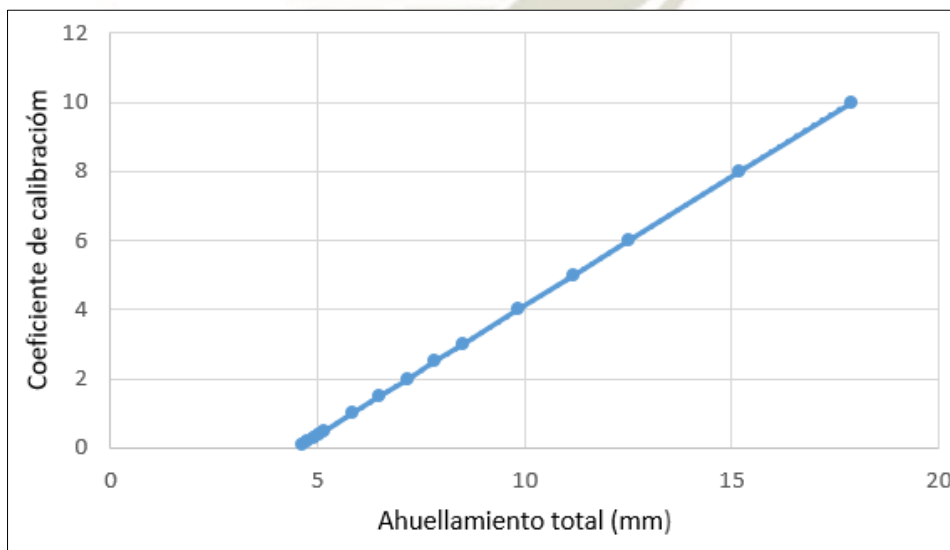
Al modificar el coeficiente Br1, los valores menores a 1 nos da valores de ahuellamiento menor, así que al asumir valores mayores a 1 obtenemos aumento del valor de ahuellamiento, siendo este coeficiente directamente proporcional con el resultado del ahuellamiento.

Tabla N°9.10. Resultados Ahuellamiento modificando el Br1

Análisis de Sensibilidad de ahuellamiento en la Carpeta Asfáltica				
Coeficientes de Calibración			Ahuellamiento	
Br1	Br2	Br3	Carpeta (mm)	Total (mm)
0.1	1.0	1.0	0.13	4.63
0.2	1.0	1.0	0.27	4.77
0.3	1.0	1.0	0.4	4.9
0.4	1.0	1.0	0.54	5.03
0.5	1.0	1.0	0.67	5.17
1.0	1.0	1.0	1.34	5.84
1.5	1.0	1.0	2.01	6.51
2.0	1.0	1.0	2.68	7.17
2.5	1.0	1.0	3.34	7.84
3.0	1.0	1.0	4.01	8.51
4.0	1.0	1.0	5.35	9.85
5.0	1.0	1.0	6.69	11.19
6.0	1.0	1.0	8.03	12.53
8.0	1.0	1.0	10.7	15.2
10.0	1.0	1.0	13.38	17.88

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°9.3. Variación del ahuellamiento modificando el Br1



En la Tabla N°9.11 se realizó la modificación del coeficiente Br2 para los valores del ahuellamiento, en los cuales al usar coeficientes menores a 1 se obtienen valores

de ahuellamiento menores, y al usar valores mayores a 1 aumenta en el valor del ahuellamiento.

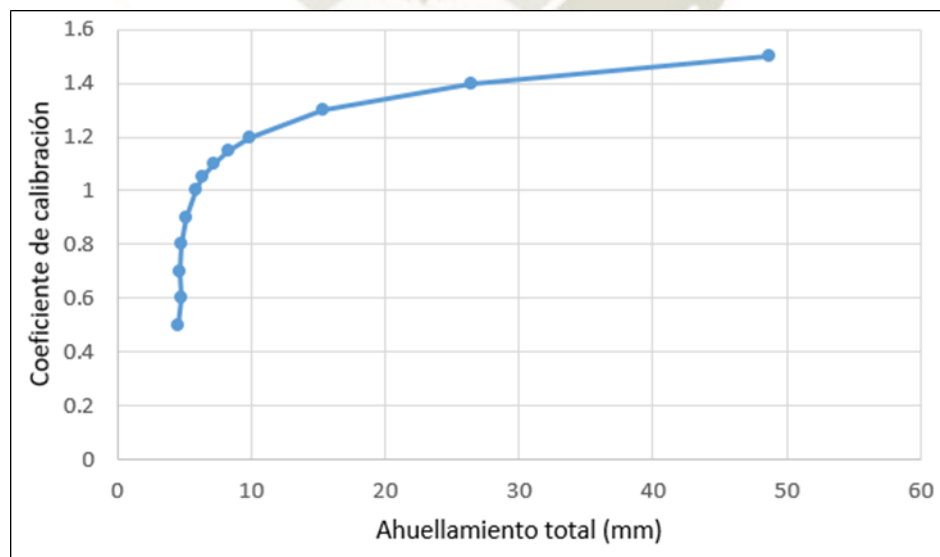
Los coeficientes mayores a 1 tiene un aumento sensible en los valores del ahuellamiento al modificar décimas,

Tabla N°9.11. Resultados modificando el Br2

Análisis de Sensibilidad de ahuellamiento en la Carpeta Asfáltica				
Coeficientes de Calibración			Ahuellamiento	
Br1	Br2	Br3	Carpeta (mm)	Total (mm)
1.0	0.5	1.0	0.08	4.58
1.0	0.6	1.0	0.27	4.77
1.0	0.7	1.0	0.16	4.66
1.0	0.8	1.0	0.33	4.83
1.0	0.9	1.0	0.66	5.16
1.0	1.0	1.0	1.34	5.84
1.0	1.05	1.0	1.9	6.4
1.0	1.1	1.0	2.69	7.19
1.0	1.15	1.0	3.82	8.32
1.0	1.2	1.0	5.42	9.92
1.0	1.3	1.0	10.92	15.42
1.0	1.4	1.0	21.98	26.48
1.0	1.5	1.0	44.26	48.76

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°9.4. Variación del ahuellamiento modificando el Br2



Fuente: Elaboración propia

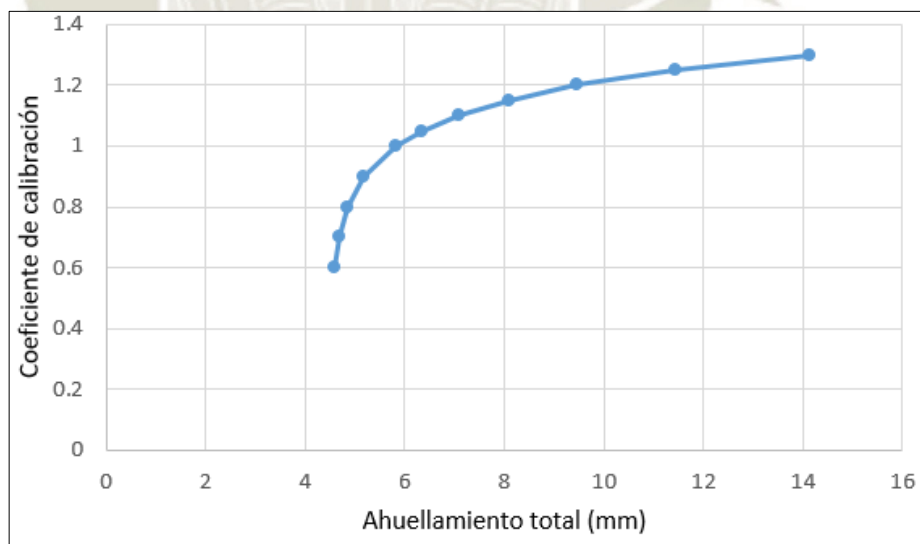
En la Tabla N°9.12 se observa resultados modificando el coeficiente Br3, al igual que el Br1 tiene el mismo comportamiento del resultado de ahuellamiento en valores de coeficiente mayores y menores a 1.

Tabla N°9.12. Resultados modificando el Br3

Análisis de Sensibilidad de ahuellamiento en la Carpeta Asfáltica				
Coeficientes de Calibración			Ahuellamiento	
Br1	Br2	Br3	Carpeta (mm)	Total (mm)
1.0	1.0	0.60	0.10	4.59
1.0	1.0	0.70	0.19	4.68
1.0	1.0	0.80	0.36	4.86
1.0	1.0	0.90	0.69	5.19
1.0	1.0	1.00	1.34	5.84
1.0	1.0	1.05	1.86	6.36
1.0	1.0	1.10	2.58	7.08
1.0	1.0	1.15	3.59	8.09
1.0	1.0	1.20	4.97	9.47
1.0	1.0	1.25	6.93	11.43
1.0	1.0	1.30	9.63	14.13

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°9.5. Variación del ahuellamiento modificando el Br3



Fuente: Elaboración propia

Para la elección del coeficiente de calibración preliminar, se tomará un coeficiente que se acerque lo más posible al valor del ahuellamiento del relevamiento de fallas, el coeficiente elegido será:

$$\beta_{r1} = 1.50$$

9.3.3. Calibración preliminar del programa CR-ME

Después del análisis de las ecuaciones de sensibilidad por fatiga y ahuellamiento, y la comparación con los resultados del relevamiento de fallas, podemos definir los siguientes coeficientes de calibración local para el software CR-ME:

- Falla por fatiga: $\beta_f = 0.98$
- Ahuellamiento: $\beta_r = 1.50$

9.3.4. Resultados del programa calibrado

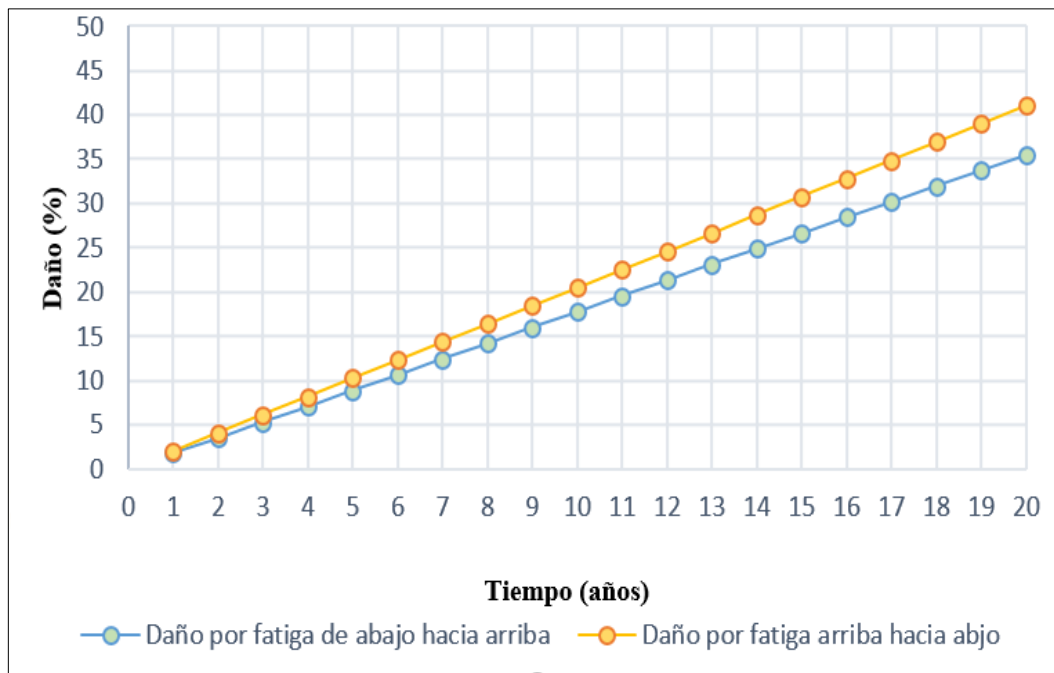
Después de obtener los coeficientes de calibración más cercanos, realizamos un análisis usando el software de acuerdo a las condiciones para el periodo de vida útil de diseño de 20 años, los cuales los resultados son:

Tabla N°9.13. Resultados programa calibrado daño por fatiga

Año	Daño por fatiga de abajo hacia arriba (%)	Daño por fatiga de arriba hacia abajo (%)	Área agrietada (%)	Agrietamiento longitudinal (pies/millas)	Ahuellamiento total (mm)
1	1.78	2.05	0.23	28.63	5.17
2	3.55	4.1	0.65	81.71	5.75
3	5.33	6.16	1.2	150.34	6.14
4	7.11	8.21	1.83	230.99	6.45
5	8.89	10.26	2.55	321.43	6.71
6	10.66	12.31	3.32	419.99	6.94
7	12.44	14.36	4.16	525.37	7.15
8	14.22	16.41	5.03	636.47	7.34
9	16	18.47	5.95	752.37	7.52
10	17.77	20.52	6.91	872.25	7.69
11	19.55	22.57	7.89	995.41	7.84
12	21.33	24.62	8.89	1121.22	7.99
13	23.11	26.67	9.92	1249.12	8.14
14	24.88	28.72	10.96	1378.62	8.27
15	26.66	30.78	12.02	1509.26	8.4
16	28.44	32.83	13.08	1640.66	8.53
17	30.22	34.88	14.16	1772.45	8.65
18	31.99	36.93	15.24	1904.32	8.77
19	33.77	38.98	16.32	2035.99	8.88
20	35.55	41.04	17.4	2167.2	8.99

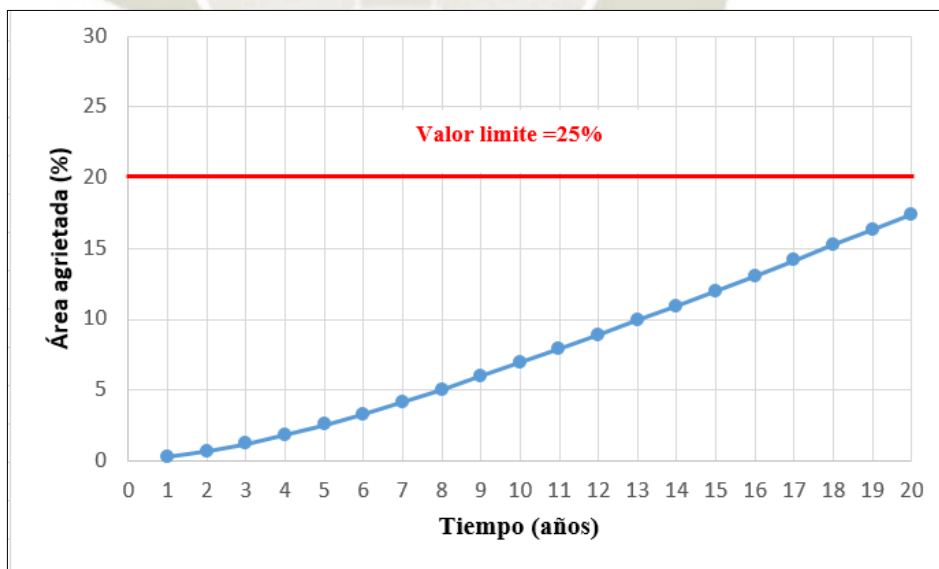
Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.6. Índice de daño CR-ME



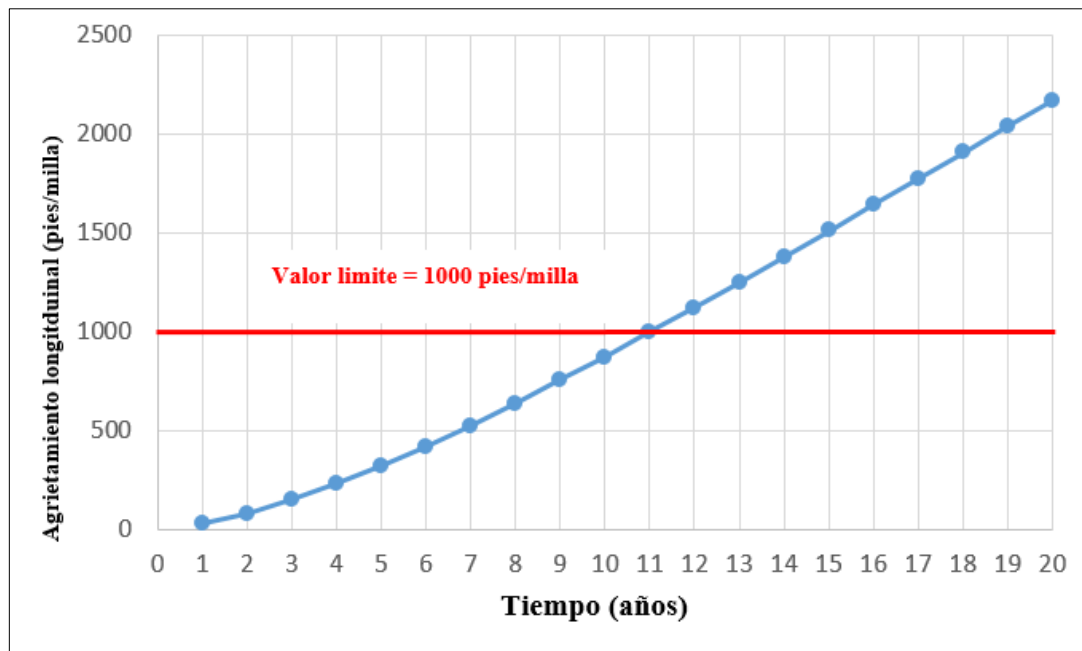
Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.7. Área agrietada



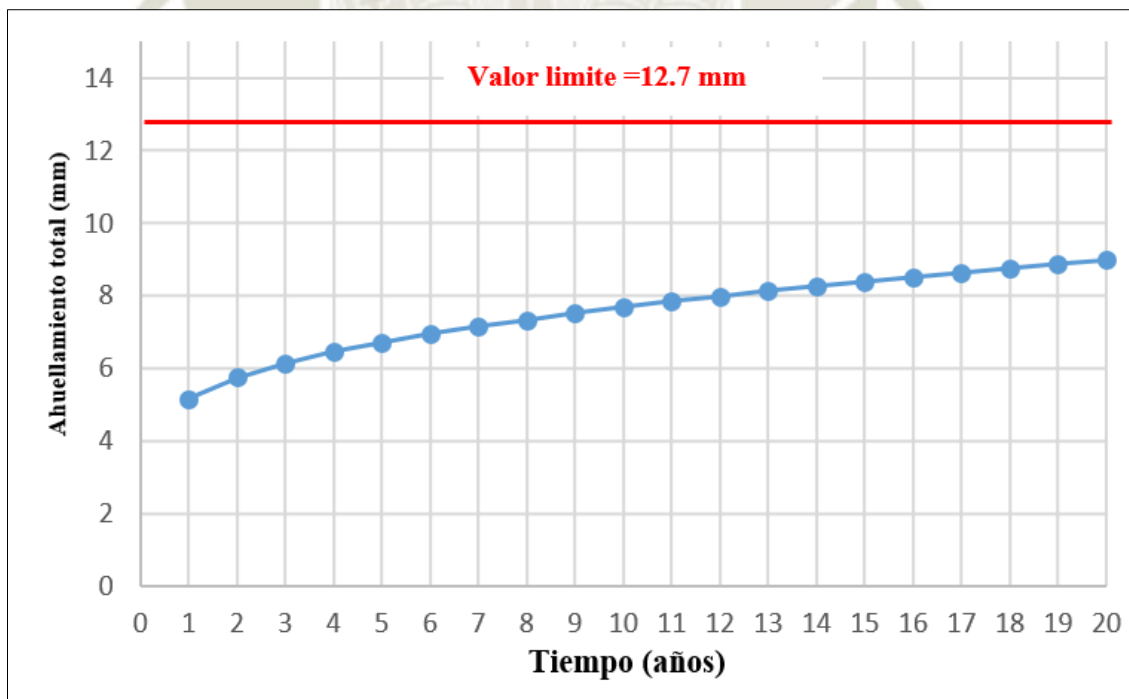
Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.8. Agrietamiento longitudinal



Fuente: Software CR-ME

Gráfico N°9.9. Ahuellamiento total del pavimento



Fuente: Software CR-ME

CAPITULO X

10. PLAN DE MANTENIMIENTO

10.1. EVALUACIÓN GLOBAL DEL PAVIMENTO

El propósito específico de la evaluación de la condición global del pavimento es evaluar, de la manera más objetiva posible, su condición actual, identificando claramente los tipos determinantes de deterioros y sus causas, así como todas las demás deficiencias que puedan ser enfrentadas mediante la rehabilitación.

10.1.1. Evaluación de deterioros del pavimento

De acuerdo a la inspección visual realizada por la metodología PCI en el capítulo IV se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N°10.1. Resumen resultados PCI

Av. Trinidad Morán Carril derecho		
Unidad de muestreo	PCI	Clasificación
001	87	Excelente
002	68	Bueno
003	44	Regular
004	50	Regular
005	69	Bueno
006	58	Bueno
007	65	Bueno
008	60	Bueno
009	84	Excelente
010	54	Regular
011	42	Regular
PROMEDIO	62	BUENO

Fuente: Elaboración propia

Mediante la inspección visual desarrollada en la vía, se pudo obtener las fallas o deterioros existentes en la Av. Trinidad Moran, así como como su clase de severidad.

Tabla N°10.2. Fallas existentes en la Av. Trinidad Morán

	DETERIORO	Metrados			
		Unidad	Leve	Moderado	Severo
1	Piel de cocodrilo	m2	49.79	11.6	
3	Agrietamiento en bloque	m2	1.6	16	
6	Depresión	m2	2.05		
7	Grieta de borde	ml	77.47		
9	Desnivel carril/berma	ml	89.15		
10	Grietas long. Y transversal	ml	99.96	25.56	
11	Parcheo	m2	372.55	56.33	0.96
15	Ahuellamiento	m2	29.77		
19	Desprendimiento de agregados	m2	25.02		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Grafico N°2.1: Curva de deterioro de un pavimento, nos recomienda como zona óptima de rehabilitación un PCI de valor 55 ± 7 , por lo cual, con nuestro valor de PCI 62, estamos dentro de esta recomendación.

Con el software CR-ME, después de la calibración podemos obtener valores de desempeño a un análisis total del periodo de vida útil de 20 años obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N°10.3. Resultados CR-ME calibrado

Tipo de Falla	und	Limite	CR-ME
Piel de cocodrilo	%	25.00	17.36
Agrietamiento longitudinal	pies/milla	1000	2167.2
Ahuellamiento total	mm	12.5	8.53

Fuente: Software CR-ME

Podemos observar que según el software CR-ME, la falla por piel de cocodrilo no excede el máximo valor límite, el valor de ahuellamiento también cumple, pero en el caso de agrietamiento longitudinal si excede el valor límite, siendo esta una falla por fatiga que implica una falla estructural.

Podemos concluir que el tramo de estudio necesita un mantenimiento de acuerdo a las fallas existentes y un refuerzo estructural debido a la falla por agrietamiento longitudinal.

10.1.2. Evaluación funcional del pavimento

La evaluación funcional está asociada a la regularidad superficial como sinónimo de calidad de circulación, por lo cual podemos relacionar con el valor del IRI.

Tabla N°10.4. Clasificación del pavimento según la serviciabilidad

Índice de serviciabilidad	Clasificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Fuente: Guía AASHTO 93

Conociendo que la serviciabilidad depende del comportamiento funcional de la vía, en ingeniería de carreteras la calidad del pavimento se analiza determinando la regularidad superficial, este valor como se observó en el capítulo 4: ensayo de rugosidad; se puede obtener a través del IRI.

En el manual centroamericano de Diseño de Pavimentos nos proporciona una correlación entre el índice de Serviciabilidad y el IRI, a través de esta fórmula:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)}$$

Donde:

PSI = Índice de serviciabilidad.

IRI = Índice internacional de rugosidad.

e = 2.71828 (base de los logaritmos neperianos).

Esta fórmula se encuentra el valor del IRI se encuentra en pulgadas por milla.

Tabla N°10.5. Valores PSI e IRI

Condición	IRI (metro por kilómetro)	IRI (pulgadas por milla)	PSI
Inicial	-	-	4.2
Final	3.36	212.91	2.08

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al resultado obtenido en la correlación del IRI con la serviciabilidad presente, podemos decir que nuestro pavimento se encuentra en una clasificación regular, por lo tanto, el pavimento necesita un **mantenimiento**.

10.1.3. Evaluación estructural del pavimento

Diseño AASHTO 93

La evaluación estructural consiste en el análisis de toda la información recolectada en relación con las deflexiones, los espesores y las pruebas destructivas y determinar el estado de la capacidad estructural.

Se realizó la comparación del diseño AASHTO 93 proporcionado por el expediente Técnico y un diseño actualizado con los nuevos datos obtenidos

Tabla N°10.6. Comparaciones de diseños AASHTO 93

DATOS	Proyecto 2010	Proyecto actualizado
CBR de diseño	37.8%	24.00
R	85%	90.00%
Zr	1.04	1.29
So	0.45	0.49
Pi	4.20	4.20
Pf	2.50	2.50
DPSI	1.70	1.70
Periodo de diseño	20 años	20 años
EE (diseño)	3.50E+06	8.56E+06
MR (psi)	53,450	18,261.46
SNreq (pulg)	1.93	3.62
SN Real (pulg)	3.20	-

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del valor de CBR de diseño de la subrasante y el obtenido en campo existe una variación, se debe a que el CBR de la Av. Trinidad Morán del proyecto fue obtenido de una sola calicata, mientras que en el estudio campo con propósito de análisis total de la vía se realizó 3 calicatas obteniendo un CBR mediante el método de percentil de diseño

Otro valor importante en el diseño de pavimentos es el ESAL en el cual existe una importante variación; en el expediente Técnico no existe un estudio de Tránsito solamente un valor asumido por el tipo de calle en la totalidad el proyecto, como

se observó en el estudio de pre conteo, no existe la misma distribución de volumen vehicular en la Av. Trinidad Moran y la Av. Cayma siendo en la primera mayor por ende un mayor ESAL. para la obtención del ESAL actualizado se calculó mediante el uso de EALF de la guía AASHTO 93 y con la totalidad de los vehículos.

El valor del módulo resiliente usado en el proyecto no es la correcta, puesto que están usando una fórmula de correlación no de acuerdo con el valor de CBR obtenido generando un valor de Número estructural muy subdimensionada.

El numero estructural propio de la construcción del proyecto en comparación con el del número estructural actualizado es menor, por lo cual se puede concluir que el pavimento de la Av. Trinidad Morán esta **sub-dimensionado**.

Número estructural efectivo (SNeff)

Mediante el uso del Equipo de deflectómetro de impacto (HWD) se obtuvo cuenco de deflexiones y como se obtuvo en el capítulo 5 se pudieron obtener los valores de módulo de resiliencia mediante el retrocálculo, así como los valores de número estructural efectivo.

Se realizará una comparación de número estructurales mediante la metodología AASHTO:

Tabla N°10.7. Número estructural efectivo AASHTO

Station	Ep (ksi)	Ht	SNeff
1	106.4	14.5	3.091
2	118.1	14.5	3.201
3	116.8	14.5	3.189
4	91.5	14.5	2.940
5	74.3	14.5	2.743

El número estructural del proyecto actualizado para el periodo vida útil de 20 años es 3.62, por lo cual se concluye se encuentra subdimensionada.

De acuerdo a la evaluación global del pavimento tanto en deterioros, como funcionalidad y estructuralmente, se concluye que la Av. Trinidad Morán necesita un mejoramiento debido la serviciabilidad y un aporte estructural para el periodo de diseño de 20 años.

- a) Tratamiento a todas las fallas encontradas
- b) Colocación de un refuerzo estructural

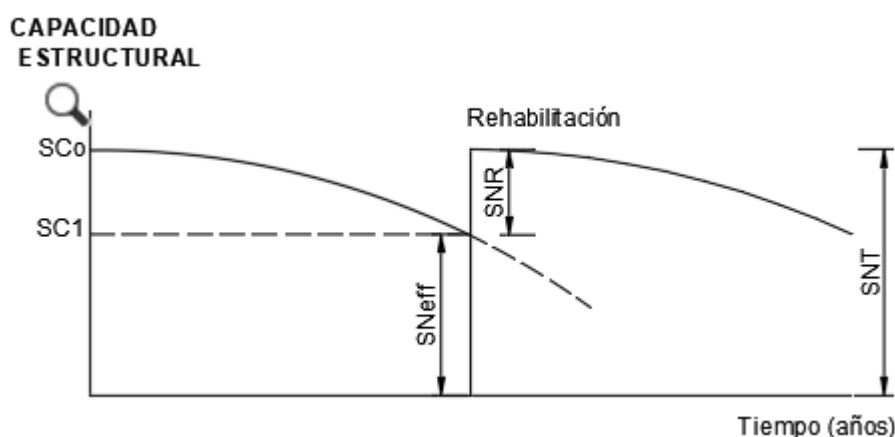
10.2. REFUERZO ESTRUCTURAL

Los refuerzos sirven para corregir fallas funcionales o estructurales de pavimentos existentes.

10.2.1. AASHTO 93

Para realizar el cálculo del refuerzo estructural se utilizará el método de número estructural propuesta por la AASHTO 93. En el Grafico N°10.1 se muestra el comportamiento de la capacidad estructural en tiempo (años) y el punto de rehabilitación necesario para el cumplimiento estructural de la vía.

Grafico N°10.1. Capacidad estructural según el tiempo



Fuente: Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles

Del gráfico se puede concluir la siguiente ecuación:

$$SNT = SNeff + SNR \quad \text{Ec. 10.1}$$

Donde:

SNT: Numero estructural requerido de diseño.

SNeff: Número estructural efectivo.

SNR: Número estructural requerido del refuerzo.

Se puede obtener la siguiente ecuación:

$$SNR = SNT - SNeff \quad \text{Ec. 10.2}$$

El espesor de refuerzo teórico se determina por medio de la ecuación de AASHTO, que define el número estructural de las capas que conforma el pavimento con la ecuación:

$$SN = a_i D_i \quad \text{Ec. 10.3}$$

Donde:

a_i = Coeficiente de aporte estructural de la capa.

D_i = Espesor de la capa, pulgadas.

El número estructural efectivo (S_{Neff}) se obtuvo mediante el ensayo del deflectómetro de impacto realizado en el capítulo V.

El coeficiente estructural de refuerzo en este caso vale 0.43 (concreto asfáltico).

Para obtener el número estructural de refuerzo, se necesita hallar el número de ejes equivalentes de carga (ESAL).

El periodo de diseño del refuerzo es de 12 años, para cumplir la vida útil para la que fue diseñada el pavimento.

Tabla N°10.8. ESAL de diseño para refuerzo

VEHICULO	TMDA	EALF	D	L	g	ESAL 18KIP
Autos	16396	0.00017	1	0.8	17.42	13957.329
Pick Up	3520	0.00141	1	0.8	17.42	25166.258
Combi Rural	488	0.00183	1	0.8	17.42	4545.702
Micro	937	0.09252	1	0.8	17.42	440875.36
Bus 2E	47	4.02922	1	0.8	17.42	963085.55
Bus 3E	36	1.79891	1	0.8	17.42	329350.24
Camion 2E	86	4.02922	1	0.8	17.42	1762241.7
Camion 3E	22	2.58864	1	0.8	17.42	289628.38
Camion 4E	2	1.81375	1	0.8	17.42	18448.225
Semi trayler 2s1/2s2	1	7.52323	1	0.8	17.42	38260.523
Semi trayler 2s3	4	5.82728	1	0.8	17.42	118541.96
Semi trayler 3s1/3s2	5	6.08266	1	0.8	17.42	154671.34
Semi trayler 3s3	16	4.38670	1	0.8	17.42	356947.75
Trayler 2T2	1	11.01725	1	0.8	17.42	33349.786
Trayler 2T3	0	9.57668	1	0.8	17.42	21741.819
Trayler 3T2	1	9.57668	1	0.8	17.42	36236.365
Trayler 3T3	32	8.13610	1	0.8	17.42	1324075.3
					ESAL	5.93E+06

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°10. 9. Cálculo del Número estructural de refuerzo

CBR suelo	18.00
R	90.00%
Zr	1.29
So	0.49
Pi	4.20
Pf	2.50
DPSI	1.70
EE (diseño)	5.93E+06
Mr	16200
x	6.78
log W18	6.77

SN	3.54	pulg
SN	8.99	cm

Fuente: Elaboración propia

Según el diseño realizado pro AASHTO 93 el valor del SN de refuerzo para el periodo de 12 años es 3.40 pulg.

Tabla N°10.10. Espesor de Refuerzo estructural

Station	SNT	S_{Neff}	SNR	D (pulg)
1	3.54	3.091	0.449	1.044
2	3.54	3.201	0.339	0.788
3	3.54	3.189	0.351	0.816
4	3.54	2.94	0.6	1.395
5	3.54	2.743	0.797	1.853

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, el refuerzo estructural varia de 1 a 2 pulg para lo cual usaremos el programa CR-ME para poder elegir el refuerzo necesario.

10.2.2. Diseño mecánico-empírico (CR-ME)

EL software de diseño CR-ME en la interfaz de materiales tiene la opción de la capa de refuerzo sobre el pavimento existente como se puede observar en la siguiente imagen.

Imagen N°10.1. Selección de capas



Fuente: Software CR-ME

Características del proyecto

- ✓ Velocidad operacional: Se asumirá el mismo valor obtenido en el estudio de velocidades de 42 km/h.
- ✓ Ancho de Carril: El mismo ancho de carril es 6.00 m
- ✓ Periodo de diseño: La rehabilitación se dará en el inicio del año 9, se optará por tomar un diseño de refuerzo de 12 años.

Interfaz de tránsito

Se utilizará la interfaz de ejes equivalente de carga, con el periodo de diseño de 12 años, la vida útil de la vía será hasta el año 2030, por lo cual se tomará este ESAL.

$$ESAL_{2030} = 5.93 E + 06$$

Interfaz de clima

Se optará por tomar los mismos valores analizados en el Capítulo VII: estudio climático

Interfaz de Materiales

De acuerdo al diseño de refuerzo estructural, se seguirá con la misma configuración estructural de la vía y propiedades de los materiales existentes.

- Carpeta asfáltica de refuerzo
- Carpeta asfáltica existente: 6.5cm (2.5 pulg)
- Base granular: 15.00 cm (6 pulg)
- Subbase Granular: 15.00cm (6 pulg)

Concreto asfáltico de refuerzo

Para las propiedades del nuevo material de carpeta asfáltica se utilizará los datos de diseño del ensayo Marshall realizado en el expediente técnico para un nivel 3 (básico) solicitado por el programa.

Tabla N°10.11. Propiedades de carpeta asfáltica de refuerzo

Carpeta Asfáltica Nivel 3		
Gradación del agregado	% acumulado retenido en la 3/4	0
	% acumulado retenido en la 3/4	16.3
	% acumulado retenido en la 3/4	30.8
	% pasando la malla 200	4.3
Propiedades volumétricas	Contenido de vacíos de aire (%)	3.4
	Contenido de asfalto (%)	6.3
	Tipo de asfalto	PEN 85-100

Coefficientes de calibración

Como se analizó los coeficientes de calibración más cercanos

- Falla por fatiga: $\beta_{f2} = 0.98$
- Ahuellamiento: $\beta_{r1} = 1.50$

De acuerdo a estos coeficientes el software nos presenta los modelos de desempeño para espesor del refuerzo

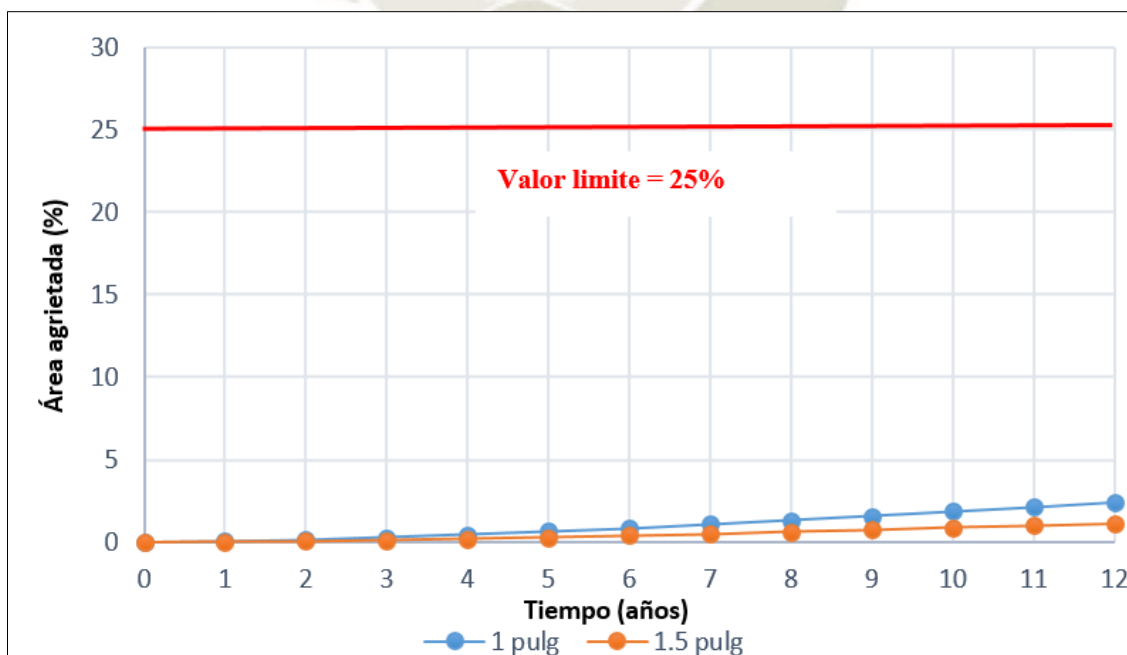
Tabla N°10.12. Resultado del programa calibrado para el refuerzo

Año	Área agrietada (%)		Agrietamiento longitudinal (pies/milla)		Ahuellamiento total (mm)	
	1 pulg	1.5 pulg	1 pulg	1.5 pulg	1 pulg	1.5 pulg
1	0.06	0.03	6.15	2.69	5.01	4.61
2	0.17	0.08	17.63	7.72	6.04	5.32
3	0.31	0.14	32.6	13.67	6.79	5.80
4	0.48	0.22	50.39	22.12	7.41	6.25
5	0.67	0.31	70.61	31.02	7.94	6.60
6	0.87	0.41	92.95	40.89	8.42	6.89
7	1.10	0.53	117.23	52.14	8.85	7.21
8	1.34	0.63	143.25	63.18	9.26	7.73
9	1.6	0.75	287.16	75.48	9.63	7.48
10	1.87	0.88	200.00	88.48	9.99	7.96
11	2.15	1.01	230.50	102.14	10.32	8.18
12	2.44	1.15	262.28	116.43	10.64	8.4

Fuente: Software CR-ME

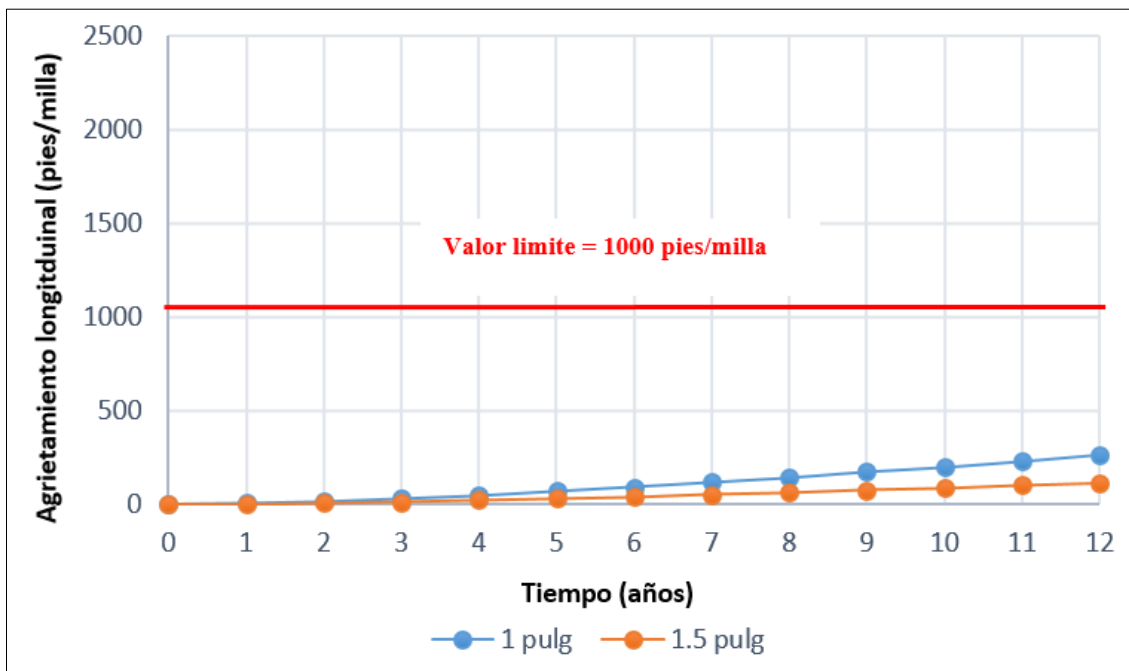
De la Tabla N°10.12, podemos obtener los siguientes gráficos:

Gráfico N°10.2. Área agrietada Refuerzo estructural



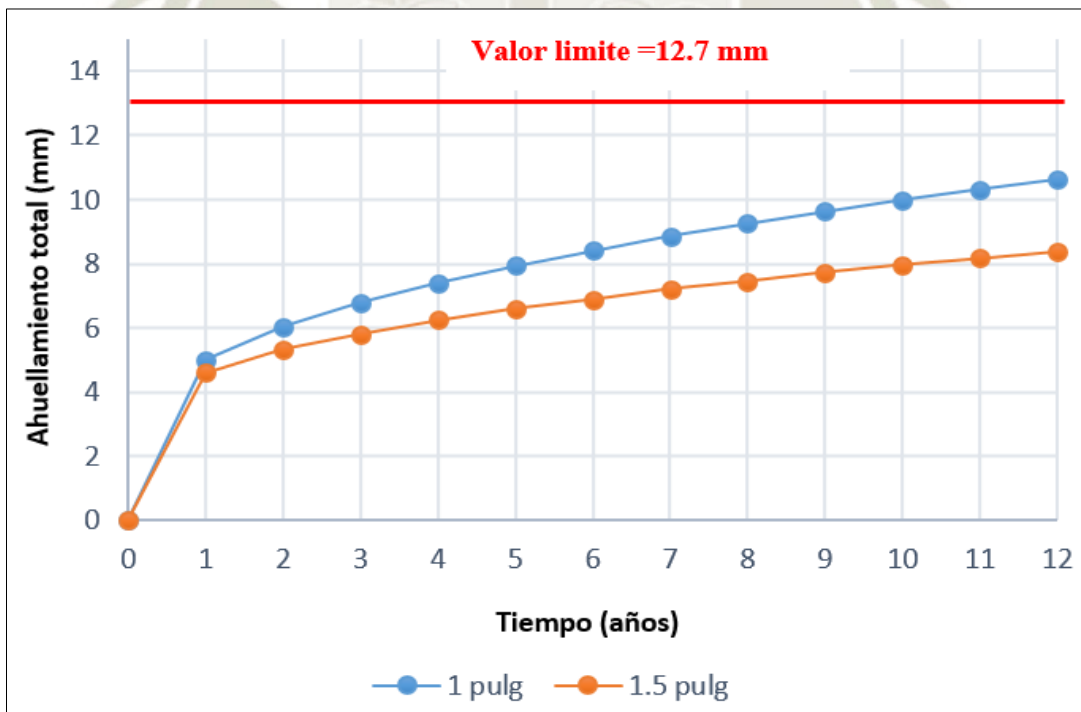
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°10.3. Agrietamiento longitudinal del refuerzo



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°10.4. Ahuellamiento total refuerzo



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los modelos de desempeño tanto para refuerzo de 1 y 1.5 pulg, optaremos por usar el refuerzo de **1.5 pulg**, debido a un menor daño de agrietamiento longitudinal en la vía.

10.3. TRATAMIENTO O MANTENIMIENTO DE DAÑOS

En el capítulo IV se hizo el relevamiento de fallas de la vía para un total de área de 2678.25 m².

Tabla N°10.13. Metrado de Fallas existentes en la Av. Trinidad Morán

	DETERIORO	Metrados			
		Unidad	Leve	Moderado	Severo
1	Piel de cocodrilo	m2	49.79	11.6	
3	Agrietamiento en bloque	m2	1.6	16	
6	Depresión	m2	2.05		
7	Grieta de borde	ml	77.47		
9	Desnivel carril/berma	ml	89.15		
10	Grietas long. Y transversal	ml	99.96	25.56	
11	Parcheo	m2	372.55	56.33	0.96
13	Huecos	m2	0.01		
15	Ahuellamiento	m2	29.77		

Fuente: Elaboración propia

- Agrietamiento por piel de cocodrilo
Leve: sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm
Moderado: fresado y parchado
- Agrietamiento en bloque
Leve: sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.
Moderado: sello de fisuras y grietas de 6 a 19 mm.
- Grieta de borde
Leve: sello de fisuras y grietas de 3 a 6 mm
- Grietas longitudinales y transversales
Leve: sello de fisuras y grietas de 3 a 6 mm.
Moderado: sello de fisuras y grietas de 6 a 19 mm.
- Bacheo
Moderado: fresado o reemplazo de parcheo.
- Ahuellamiento
Leve: fresado de la superficie en algunas áreas

Para la zona de intersección de la vía donde se presentan distintas fallas como hundimiento, fisuramiento tipo piel de cocodrilo, agrietamiento bloque en la misma área, se ha optado por el fresado de la superficie y colocación de una nueva carpeta.

Para parchados realizados con adoquines, estos serán reemplazados con un parchado profundo con mezcla asfáltica en frío.

Una vez subsanado los deterioros antes descritos se procederá con la aplicación del refuerzo estructural.

De acuerdo a las fallas encontradas, en la siguiente tabla mostramos las partidas a realizar y su respectivo metrado.

Tabla N°10. 14. Metrado de fallas según intervención

Kilometro	0+000 a 0+386 km	0+386 km a 0+045 km
Ancho de Carril	6.00 m	8.05 m
Área asfaltada	2316 m ²	362.25 m ²

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el refuerzo estructural se realizará a lo largo de toda la vía, en la inspección visual realizada en el capítulo IV obtuvimos los siguientes datos

Tabla N°10. 15. Área total de la Av. Trinidad Morán

Actividad	Unidad	Metrado
Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm	m	228.82
Sello de fisuras y grietas de 6 a 19mm.	m	41.56
parchado	m ²	77.29

Fuente: Elaboración propia

Por lo cual el área total de intervención sería **2678.25 m²**

En el Anexo N°10.1, se presenta las especificaciones técnicas de las actividades que se realizaran en la intervención.

10.4. PRESUPUESTO DEL MANTENIMIENTO

Después de analizar los metrados por cada intervención que se realizara a la vía, se puede obtener las partidas a ejecutar en el proyecto.

Tabla N°10.16. Partidas a ejecutar

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	P.U. (S/.)
01	OBRAS PROVISIONALES			
01.01	CARTEL DE OBRA	und	1	450.16
02	OBRAS PRELIMINARES			
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	Glb.	1	1500.00
02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	2678.25	0.94
03	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE			
03.01	SELLO DE FISURAS Y GRIETAS DE 3 A 6 mm	m	228.82	6.48
03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19 mm	m	41.56	11.48
03.03	PARCHADO DE BACHES CON MAF	m2	77.29	42.41
04	TRATAMIENTO CON GEOMALLAS			
04.01	LIMPIEZA DE SUPERFICIE A TRATAR	m2	2678.25	2.18
04.02	GEOMALLAS	m2	2678.25	11.75
05	REFUERZO ASFALTICO MAC e=1.5"			
05.01	RIEGO DE LIGA	m3	100.43	1.87
05.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 1.5"	m2	2678.25	21.59

Fuente: Elaboración propia

Los análisis de costos unitarios de las partidas se encuentran en el Anexo N°10.2. De acuerdo al metrado de fallas y el precio unitario:

El cálculo del presupuesto nos da como monto total del mantenimiento:

COSTO DIRECTO	:	109,845.23 S/.
GASTO GENERALES (7%)	:	7,689.17 S/.
UTILIDAD (8%)	:	8,787.62 S/.
<hr/>		
SUBTOTAL	:	126,322.02 S/.
IMPUESTO IGV (18%)	:	22,737.96 S/.
<hr/>		
PRESUPUESTO TOTAL	:	149,059.98 S/.

CAPITULO XI

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 CONCLUSIONES

1. Después de haber realizado un análisis global al pavimento de la Av. Trinidad Morán y aplicar los softwares de diseño mecanístico-empírico con los resultados obtenidos, concluimos que, el software CR-ME se puede aplicar como herramienta de diseño de pavimentos flexibles usando los coeficientes de calibración local obtenidos; en cuanto al software FPS 21 brinda herramientas de aplicación mayormente mecanístico que no son de total confiabilidad debido a la constante de temperatura incorrecta.
2. A través de la inspección visual realizada con la metodología Pavement Condition Index (PCI) nos permitió reconocer los diferentes tipos de fallas o deterioros existentes en la vía, a fin de obtener el relevamiento de fallas para la verificación de los softwares y conocer el estado de conservación de la vía. El resultado del ensayo nos da un PCI promedio de 62, lo cual se considera un estado Bueno, este resultado nos indica un estado óptimo para realizar un mantenimiento para garantizar la vida útil para el que fue diseñado el pavimento.
3. El estudio de tránsito realizado en el 2018 nos da un resultado de 21,592 vehículos diarios lo cual no puede ser comparado debido a que no existe un estudio de tránsito en el expediente técnico, pero sí puede ser comparado con el número de ejes equivalente de carga (ESAL's) de diseño, siendo en el E.T. de **3.50E +06** y el proyectado con el tráfico actual de **8.56E +06**.
4. El ensayo de rugosímetro de MERLIN fue correlacionado al Índice de Regularidad Internacional (IRI), dando como resultado 3.36 m/km para el carril izquierdo, que establece una Serviciabilidad regular; esta nos indica la necesidad de mejorar la funcionalidad del pavimento.
5. A través de ensayos destructivos (calicatas) realizados a la vía, se pudo comprobar los espesores de las capas del pavimento; a la vez obtuvimos muestras de subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica, a las que mediante ensayos de laboratorio obtuvimos los datos necesarios para la aplicación de los softwares.

6. La evaluación deflectométrica usando el deflectómetro de impacto HWD nos permitió obtener indicadores que reflejan características de la estructura a través del cuenco de deflexiones. Así mismo se aplicó la metodología del retrocálculo que nos permitió calcular los módulos de cada capa estructural del pavimento, y obtener la capacidad estructural mediante la metodología AASHTO, Yonapave y Rohde.
7. Con el proceso del retrocálculo obtuvimos los módulos de las capas del pavimento el valor de módulo de la carpeta es 2740 MPa, de la base es 295 MPa, de la subbase 179 MPa y de la subrasante 109 MPa.
8. El cálculo del Índice de humedad de Thornthwaite (TMI) presenta valores más altos en los meses enero y febrero que es cuando se presentan precipitaciones en la ciudad de Arequipa, sin embargo, este índice no llega a ser positivo esto debido a la alta evapotranspiración que ocurre durante estos meses.
9. Después de comparar los resultados proporcionados por el software CR-ME y los obtenidos por el relevamiento de fallas, se calibró el programa a daño por fatiga con un valor $\beta f_2=0.98$ y por ahuellamiento $\beta r_1=1.50$ como valores de calibración local.
10. El programa CR-ME calibrado se puede utilizar como una herramienta para determinar el deterioro de la vida útil de la estructura del pavimento, utilizando la guía de diseño AASHTO 93 como un pre dimensionamiento para ingresar datos al programa.
11. El software FPS 21 nos da la vida total del pavimento en millones de ESAL's frente a cada deterioro, lo que nos limitó en la comparación del relevamiento de fallas, además de que el software internamente plantea los criterios de aceptación internamente para cada ecuación de predicción de desempeño.
12. De acuerdo a la evaluación global realizada al pavimento, se propone realizar un tratamiento de fisuras a lo largo de la vía y una intervención a los parches que se encuentran en niveles de severidad media y alta, así como aplicar un refuerzo

estructural de 1.5 pulg. necesario para garantizar la vida útil a la que fue diseñado el pavimento, utilizando el software CR-ME obtenemos los daños por fatiga y ahuellamiento del refuerzo verificando así el diseño correcto.

11.2 RECOMENDACIONES

1. En los expedientes técnicos es necesario contar con el estudio de tránsito completo para obtener el cálculo del TMDA, puesto que en el presente proyecto solo se asumió un valor de ESAL's sin justificar este resultado.
2. En la inspección visual, es necesario conocer las diferentes severidades que tiene cada falla incluida en la norma ASTM D6433-18, así como la revisión de información del relevamiento de fallas de LTPP (Long Term Pavement Performance), para obtener un relevamiento real del tramo a realizar.
3. Para el cálculo del índice de Thornthwaite (TMI), se recomienda utilizar el método III porque este es más crítico en periodos de lluvia. Además, se recomienda que el cálculo sea mes a mes para el periodo de análisis y finalmente promediar el índice de cada mes.
4. Al realizar el ensayo de deflectometría utilizando el deflectómetro de impacto, es importante registrar la temperatura del aire y del asfalto en cada uno de los puntos de las mediciones, puesto que este valor nos permite corregir por temperatura las deflexiones obtenidas y reajustar el valor del módulo de la carpeta asfáltica.
5. Para el reajuste de los módulos de las capas no ligadas se debe conocer las propiedades y el estado de la capas, y correlacionar con los valores de CBR para elegir con un mayor criterio los valores de ajuste, en el caso de la subrasante se recomienda usar las formulas del cálculo directo y utilizar los factores de ajuste por tipo de granulometría.
6. Para la calibración del coeficiente local del daño por fatiga se debe analizar en su totalidad tanto por el daño por piel de cocodrilo, como el agrietamiento longitudinal, y obtener una relación entre los daños.

7. Se recomienda utilizar el programa FPS 21 para obtener distintas posibilidades del diseño de pavimentos y mantenimiento comparando con el diseño de pavimentos mediante el diseño AASHTO 93, aunque este no ofrezca resultados verídicos debido a que el software realiza el diseño para una temperatura local de 31°F.
8. Se debe aplicar geomalla para el refuerzo estructural de la carpeta actúe de manera adecuada además para controlar el agrietamiento por fatiga y ahuellamiento.
9. Para aplicar un diseño mecanístico-empírico utilizando el nivel 1 (avanzado), es necesario contar con equipos que proporcionen el valor del módulo dinámico de concreto asfáltico, como ensayo de módulo resiliente; así como un control de pesaje de vehículos para obtener un espectro de carga en la interfaz de tránsito para obtener cada vez coeficientes de calibración con resultados más confiables.
10. Con propósito de mejorar la investigación en el diseño mecanístico-empírico de pavimentos, es necesario realizar mayores estudios a pavimentos flexibles que tengan diferente composición estructural y en diferentes puntos de la ciudad de Arequipa, para obtener coeficientes de calibración más exactos.



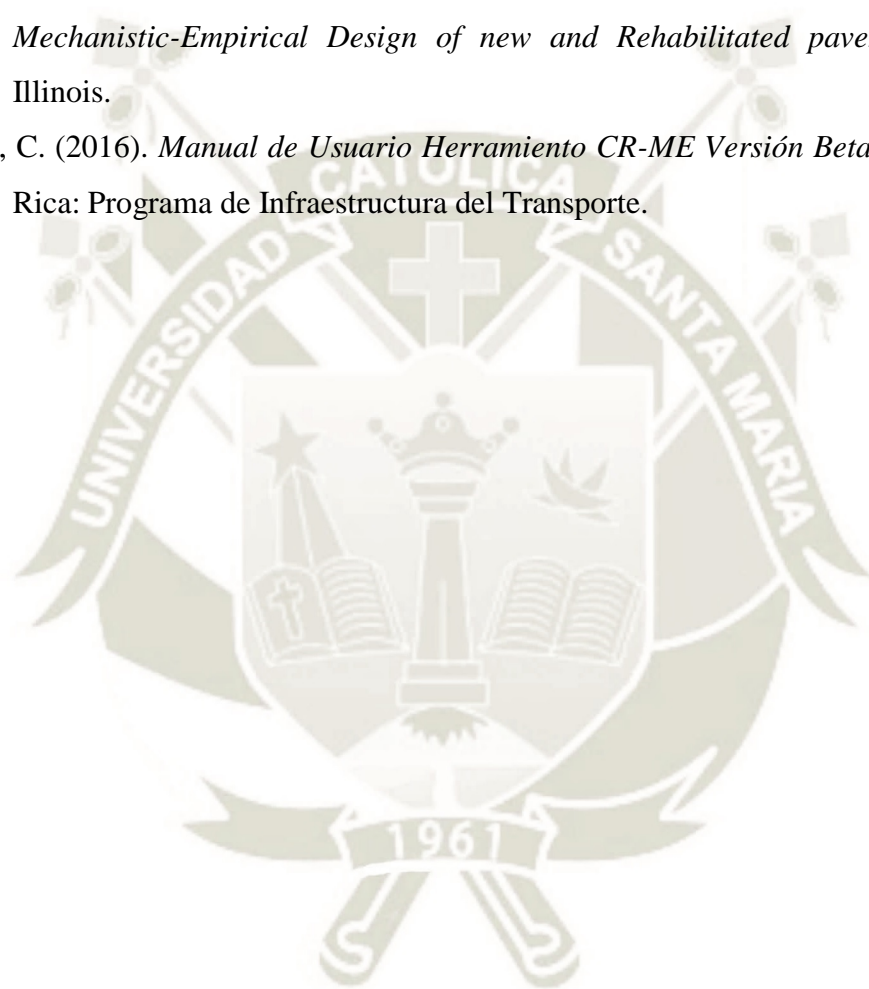
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS


- AASHTO. (1993). *Guia de diseño de pavimentos metodo AASHTO-93*.
- ASTM. (2018). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- Badilla Vargas, G., & Sibaja Obando, D. (2019). *Análisis de los resultados de deflectometría por impacto (FWD) para la evaluación de la respuesta estructural de los pavimentos para diferentes épocas del año en la red vial de Costa Rica*. San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Barrantes, R., Sibaja, D., & Porras, J. (2008). *Desarrollo de herramientas de Gestión con base en la determinación de índices Red Vial Nacional*. Costa Rica: Unidad de investigación Lanamme UCR.
- Bejarano Urrego, & Murillo Feo. (2013). Correlation between deflections measurements on flexible pavements obtained under static and dynamic load techniques. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (pág. 6). Paris.
- Beltrán, G., & Romo, M. (2012). Análisis de índices derivados de pruebas de deflexión por impacto para evaluación de pavimentos. *XXVI reunión nacional de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica*.
- Cal y Mayor, R., & Cardenas, J. (2007). *Ingeniería de Transito: Fundamentos y aplicaciones 8a. Edicion*. Mexico: Alfaomega.
- Camineros S.A.C. (2018). *Manual de usuario MERLINER*. Lima.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Secretaria de Integración económica Centroamérica .
- Estructurales, L. N. (2013). *Herramienta de cálculo de la curva maestra de módulo dinámico*. San José.
- García, A., Gutiérrez, F., & Hernández, J. (2014). *Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanística empírico, con el método AASHTO 93*. Tesis Ing. Civil Universidad de El Salvador .
- Garnica, P., & Pérez, A. (2018). *Influencia de la temperatura en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles*. Insituto Mexicano del Transporte.
- Giovanon, O. H., Pagola, M. B., & Tamara Naranjo, J. (2000). *Corrección por temperaturas de las deflexiones Lacroix*. Rosario.

- Gonzales, M. (2014). *Determinacion de un plan de mantenimiento para pavimentos, mediante la comparacion de diseños utilizando las guias AASHTO 93 y AASHTO 2008 en la Av. aviacion desde el km 2+100 hasta km 6+300 carril derecho, cerro colorado- Arequipa*. Arequipa: Universidad Catolica Santa Maria.
- Guillén Pérez, R. (2009). *Metodología y aplicación del retrocálculo del deflectómetro de impacto (FWD) en pavimentos flexibles, caso práctico: carretera Abancay-Chalhuanca*. Lima.
- Guzmán, E. (2017). Factores para el Ajuste de los Módulos de Retrocálculo de Pavimentos flexibles. *Ciencia, innovación y Tecnología*, 73-89.
- Hernández Vega, H. (2013). *Programa de monitoreo de tráfico*. San José: Comité editorial.
- Higuera Sandoval, C. H. (2018). *Diseño de Pavimentos, Índice de Thornthwaite*. Boyacá. Instituto de la Construcción y Gerencia. (2015). *Guia de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Jaña Arellano, C. (2016). *Implementacion de la guia de diseño mecanistico-empirico AASHTO 2008 en la region Piura*. Piura: Tesis de Ing. Civil Universidad de piura.
- Joao, S. C. (2019). *Backcalculation of pavement structure characterization results*. Aveiro.
- Jugo B., A. (2005). *Manual de mantenimiento y rehabilitacion de Pavimentos flexibles*.
- Karunarathne, A., Gad, E., Disfani, M., & Wilson, J. (2016). *Review of calculation procedures of thornthwaite moisture index and its impact on footing design*. ResearchGate.
- Leal, M. (2010). *Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocalculo y el encontrado en ensayos de laboratorio*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Leiva, F., Aguiar, J., & Camacho, E. (2016). Simulación de Variables climáticas en ensayos de daño acelerado de pavimentos a escala natural . *Infraestructura vial/Lanamme UCR*, 20-29.
- Liu, W., & Scullion, T. (2011). *Flexible Pavement Design System FPS 21: User's Manual*. Texas Department of Transportation .
- Mendoza, J., & Marcos, O. (2017). *El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros*. Instituto Mexicano del Transporte-Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Menendez, J., & Barreda, J. C. (2015). *Incorporación del Efecto del Clima en el Procedimiento de Diseño de Pavimentos Asfálticos del MTC y AASHTO 93*.
- Meza, H. (2017). *Evaluacion deflectometrica obtenida con la viga benkelman y diseño de estructuras de pavimento por el metodo AASHTO 2008 en la avenida Hartley del*

- distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero-Arequipa. Tesis Ing. Civil Universidad Católica Santa María.*
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas generales para Construcción EG-2013*. Lima -Peru: Tomo I.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *"Manual de Carreteras": Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima-Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima-Perú.
- Mocha, J. P. (Marzo de 2014). Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas. *Boletín Técnico N° 5, Lanamme*, 54-56.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da ed.). Bogotá: Agora editores.
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). (2006). *Environmental effects in pavement mix and structural design systems*.
- Oberez, M. E., Kass, S., & Hilderman, S. (2015). *Estimating base layers and subgrade modullifor ME Pavement design in Manitoba*. Charlottetown.
- Olarte Pinares, J. R. (2015). *Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera puente Raither – puente Paucartambo*. Lima.
- Papagiannakis, A. (2015). *Mechanistical-Empirical Pavement Design; A brief Overview*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Texas at San Antonio, TX, USA.
- Patiño, N. (2015). *Evaluación estructural para la rehabilitación del pavimento según metodología AASHTO en la vía Puente Nacional-Barbosa entre K0+000 y K 1+500*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- Perez, A. M., Camacho, F., & Garcia, A. (2011). *La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial*. Plataforma Tecnológica española de la Carretera.
- Reyes Ortiz, O. J. (2016). *Incidencia de la humedad relativa en el comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica*. Bogotá.
- Schnoor, H., & Horak, E. (2012). *Possible method of determining structural number for flexible pavements with de falling weigh deflectometer*. Pretoria, Sudáfrica: Southern African Transport Conference.

- Taylor, M., & Philp, M. (2012). *Beyond Agriculture: Exploring the application of the Thornthwaite Moisture Index to infrastructure and possibilities for climate change adaptation*. National Climate Change Adaptation Research Facility .
- Thornthwaite, C., & Mather, J. (1957). *Instructions and Tables for computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Technology Laboratory of Climatology.
- Transportation National Cooperative Highway Research program. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and Rehabilitated pavement structures*. Illinois.
- Trejos, C. (2016). *Manual de Usuario Herramienta CR-ME Versión Beta*. San José-Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte.





ANEXO N°4.1
RESULTADOS DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE
ATTERBERG



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

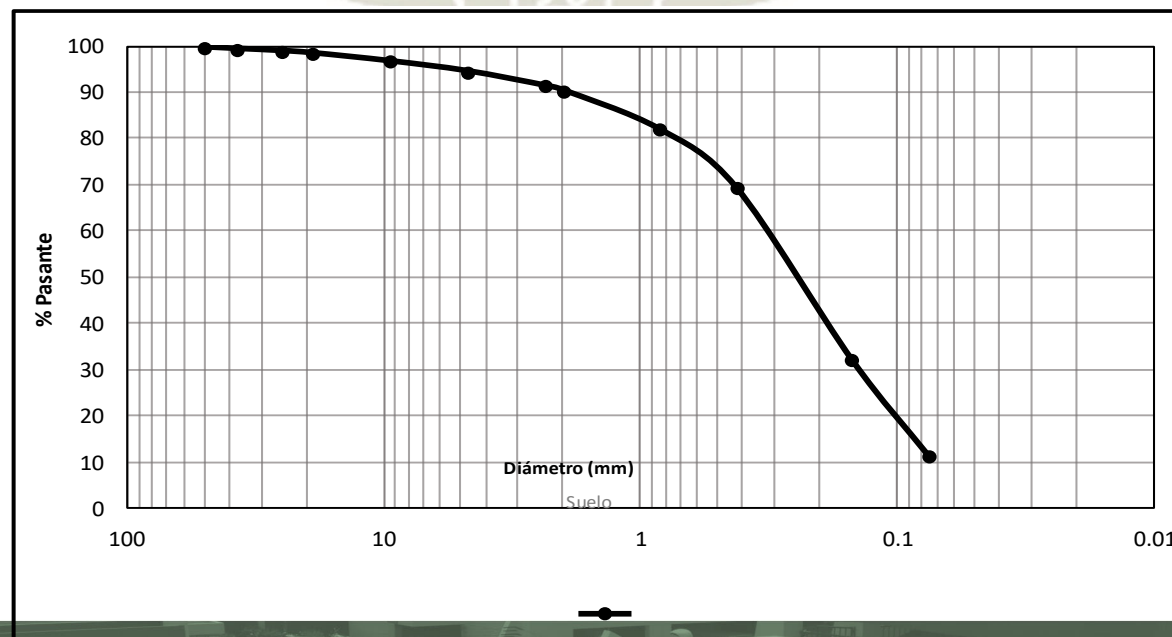
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra						
CALICATA : 01						
MUESTRA : SUELO DE SUBRASANTE						
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos
2"	50	18.67	0.38	0.38	99.62	Total de Muestra (gf): 4869.0 Retenido #4 (gf): 268.7 Pasante #4 (gf): 4600.3 D10: 0.07 Cu: 4.6 D30: 0.16 Cc: 1.1 D60: 0.32 LL: 22 IP: 0 LP: 24.9
1 1/2"	37.5	16.12	0.33	0.71	99.29	
1"	25	22.43	0.46	1.18	98.82	
3/4"	19	23.14	0.48	1.65	98.35	
3/8"	9.5	84.10	1.73	3.38	96.62	
4	4.75	104.20	2.14	5.52	94.48	
8	2.36	152.55	3.13	8.65	91.35	
10	2	50.01	1.03	9.68	90.32	
20	0.85	404.76	8.31	17.99	82.01	
40	0.425	614.55	12.62	30.61	69.39	
100	0.15	1812.82	37.23	67.84	32.16	CLASIFICACIÓN SUCS Arena limosa bien graduada (SW-SM)
200	0.075	1014.11	20.83	88.67	11.33	
fondo	-	551.52	11.33	100.00	0.00	CLASIFICACIÓN ASTM A-2-4 (0)





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

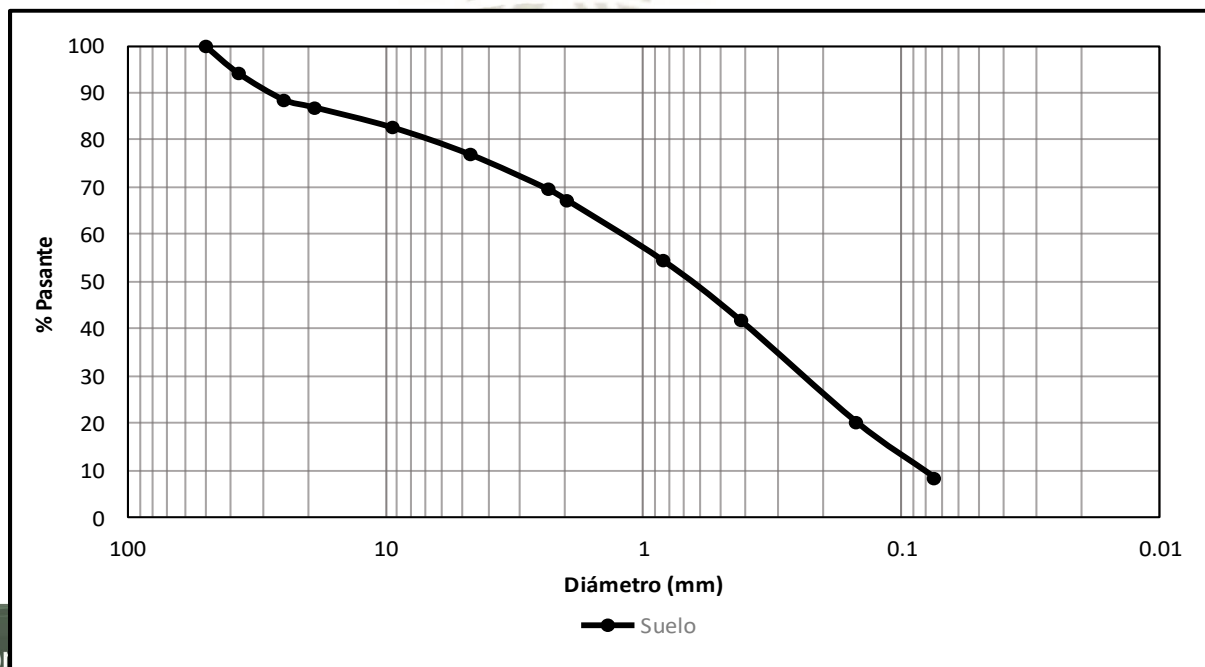
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra						
CALICATA : 02						
MUESTRA : SUELO DE SUBRASANTE						
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	Total de Muestra (gf): 4935.0 Retenido #4 (gf): 1130.0 Pasante #4 (gf): 3805.0 D10: 0.08 Cu: 16.3 D30: 0.25 Cc: 0.6 D60: 1.30 LL: 23.6 IP: 0 LP: 27.4
1 1/2"	37.5	278.61	5.65	5.65	94.35	
1"	25	279.21	5.66	11.30	88.70	
3/4"	19	81.11	1.64	12.95	87.05	
3/8"	9.5	209.30	4.24	17.19	82.81	
4	4.75	281.79	5.71	22.90	77.10	
8	2.36	365.64	7.41	30.31	69.69	
10	2	111.95	2.27	32.58	67.42	
20	0.85	630.83	12.78	45.36	54.64	
40	0.425	627.13	12.71	58.07	41.93	
100	0.15	1071.69	21.72	79.78	20.22	
200	0.075	576.59	11.68	91.47	8.53	
fondo	-	421.14	8.53	100.00	0.00	
CLASIFICACIÓN SUCS						
Arena limosa mal graduada (SP-SM)						
CLASIFICACIÓN ASTM						
A-1-b (0)						





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

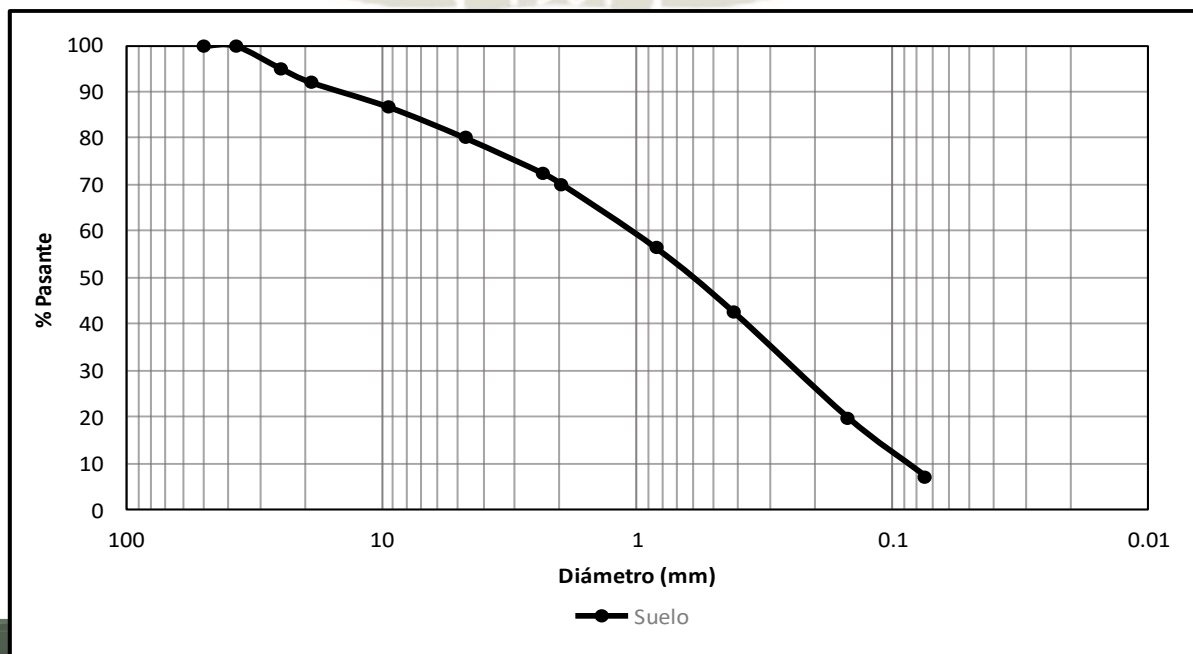
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra						
CALICATA : 03						
MUESTRA : SUELO DE SUBRASANTE						
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	Total de Muestra (gf): 5123.7 Retenido #4 (gf): 1014.1 Pasante #4 (gf): 4109.6 D10: 0.09 Cu: 12.2 D30: 0.24 Cc: 0.6 D60: 1.10 LL: 21.8 IP: 0 LP: 27.4
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25	248.63	4.85	4.85	95.15	
3/4"	19	153.65	3.00	7.85	92.15	
3/8"	9.5	269.59	5.26	13.11	86.89	
4	4.75	342.21	6.68	19.79	80.21	
8	2.36	388.17	7.58	27.37	72.63	
10	2	116.52	2.27	29.64	70.36	
20	0.85	706.85	13.80	43.44	56.56	
40	0.425	698.20	13.63	57.06	42.94	
100	0.15	1176.42	22.96	80.02	19.98	CLASIFICACIÓN SUCS Arena limosa mal graduada (SP-SM)
200	0.075	640.35	12.50	92.52	7.48	
fondo	-	383.12	7.48	100.00	0.00	





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

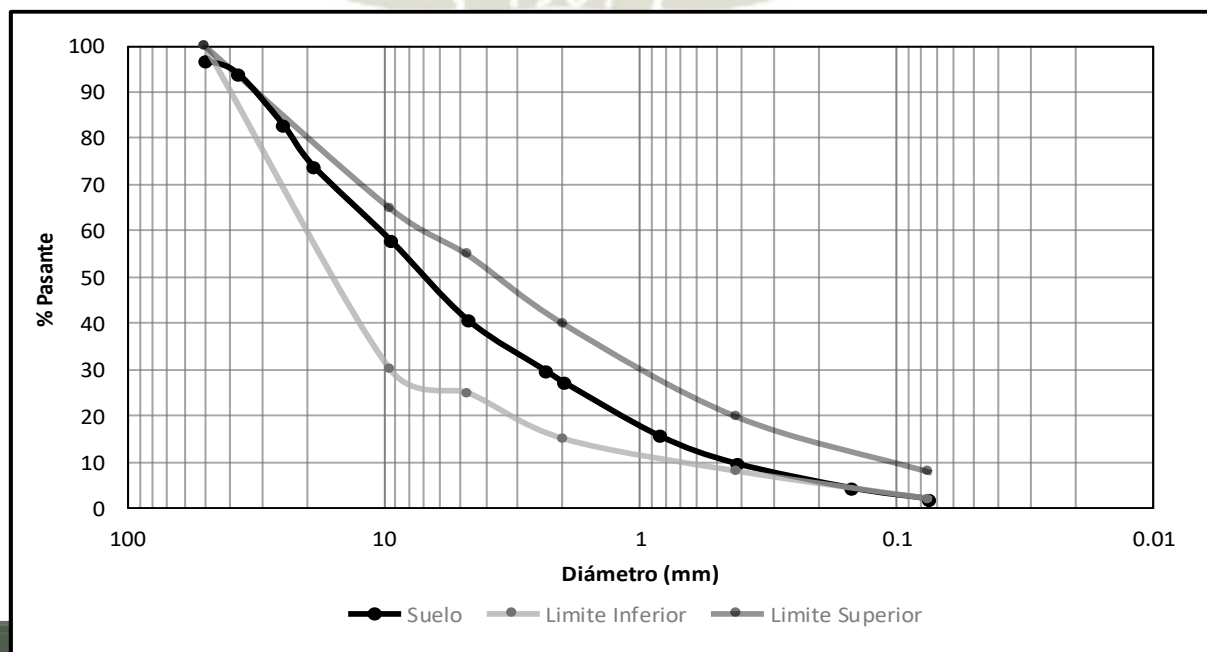
NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA	: 01
MUESTRA	: SUELO DE SUBBASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos
2"	50	161.03	3.20	3.20	96.80	Total de Muestra (gf): 5038.2 Retenido #4 (gf): 2984.9 Pasante #4 (gf): 2053.3 D10: 0.44 Cu: 22.7 D30: 2.40 Cc: 1.3 D60: 10.00 LL: 18.2 IP: 0 LP: 27.6 CLASIFICACIÓN SUCS Grava bien graduada (GW) CLASIFICACIÓN ASTM A-1-a (0)
1 1/2"	37.5	142.38	2.83	6.02	93.98	
1"	25	552.65	10.97	16.99	83.01	
3/4"	19	454.66	9.02	26.02	73.98	
3/8"	9.5	807.29	16.02	42.04	57.96	
4	4.75	866.89	17.21	59.25	40.75	
8	2.36	551.23	10.94	70.19	29.81	
10	2	128.42	2.55	72.74	27.26	
20	0.85	580.93	11.53	84.27	15.73	
40	0.425	302.27	6.00	90.27	9.73	
100	0.15	267.94	5.32	95.58	4.42	
200	0.075	116.84	2.32	97.90	2.10	
fondo	-	105.67	2.10	100.00	0.00	





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

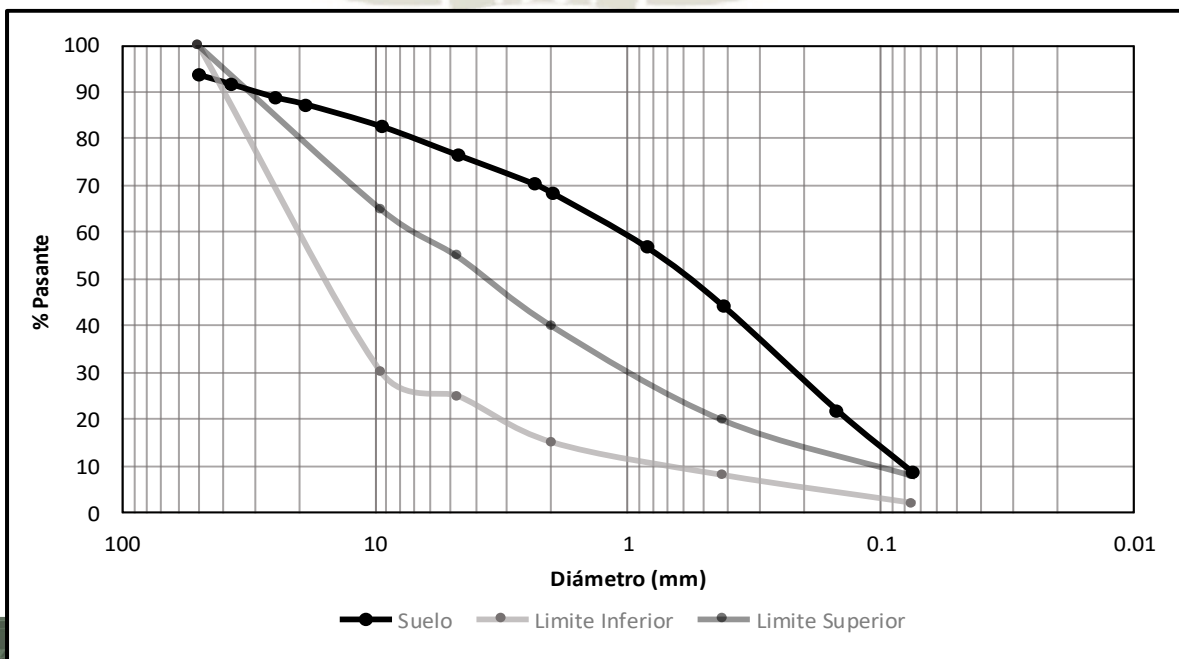
NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: SUELO DE SUBBASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos	
2"	50	309.59	6.30	6.30	93.70	Total de Muestra (gf): 4916.7 Retenido #4 (gf): 1150.4 Pasante #4 (gf): 3766.3 D10: 0.08 Cu: 13.8 D30: 0.22 Cc: 0.6 D60: 1.10 LL: 20.5 IP: 0.9 LP: 19.6	
1 1/2"	37.5	95.65	1.95	8.24	91.76		
1"	25	139.72	2.84	11.08	88.92		
3/4"	19	73.46	1.49	12.58	87.42		
3/8"	9.5	232.45	4.73	17.31	82.69		
4	4.75	299.53	6.09	23.40	76.60		
8	2.36	304.36	6.19	29.59	70.41		
10	2	96.43	1.96	31.55	68.45		
20	0.85	565.34	11.50	43.05	56.95		
40	0.425	611.66	12.44	55.49	44.51		
100	0.15	1099.34	22.36	77.85	22.15	CLASIFICACIÓN SUCS Arena limosa mal graduada (SP-SM)	
200	0.075	655.38	13.33	91.18	8.82		CLASIFICACIÓN ASTM A-1-b (0)
fondo	-	433.79	8.82	100.00	0.00		





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

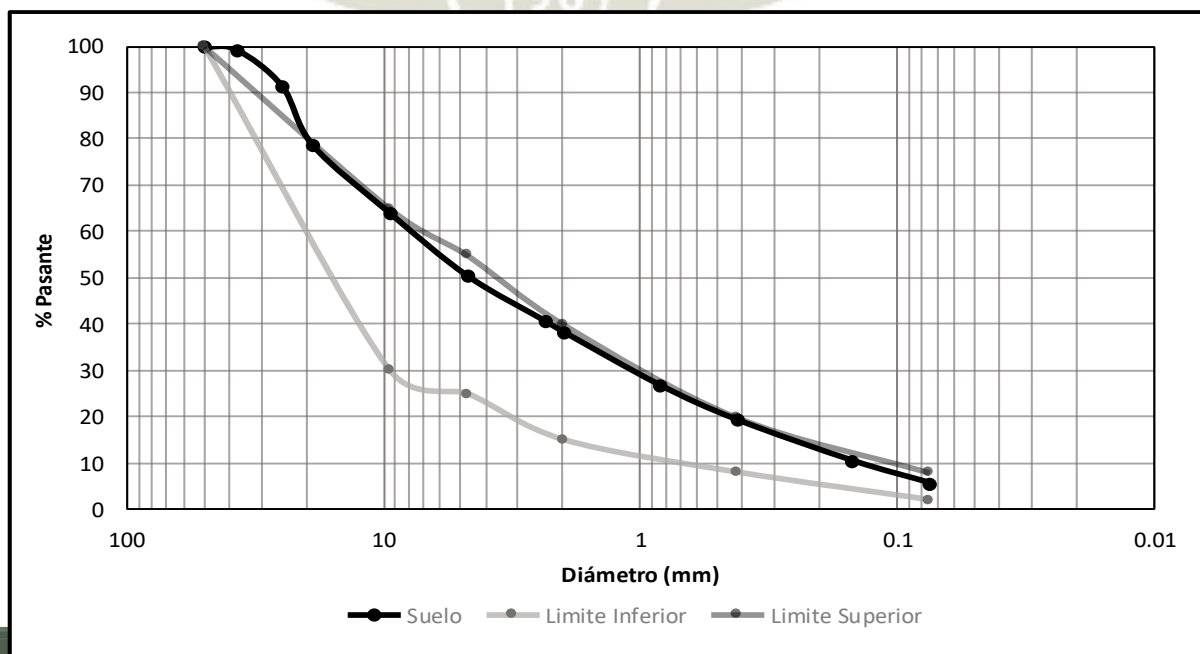
NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA	: 03
MUESTRA	: SUELO DE SUBBASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos	
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	Total de Muestra (gf): 4982.7	
1 1/2"	37.5	32.78	0.66	0.66	99.34	Retenido #4 (gf): 2468.0	
1"	25	390.01	7.83	8.49	91.51	Pasante #4 (gf): 2514.7	
3/4"	19	636.67	12.78	21.26	78.74	D10: 0.16	Cu: 50.0
3/8"	9.5	734.87	14.75	36.01	63.99	D30: 1.00	Cc: 0.8
4	4.75	673.71	13.52	49.53	50.47	D60: 8.00	LL: 19
8	2.36	487.68	9.79	59.32	40.68	IP: 0	LP: 19.7
10	2	118.03	2.37	61.69	38.31	CLASIFICACIÓN SUCS	
20	0.85	568.03	11.40	73.09	26.91	Arena limosa mal graduada (SP-SM)	
40	0.425	375.02	7.53	80.61	19.39	CLASIFICACIÓN ASTM	
100	0.15	442.95	8.89	89.50	10.50	A-1-a (0)	
200	0.075	239.35	4.80	94.31	5.69		
fondo	-	235.59	4.73	99.04	0.96		





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

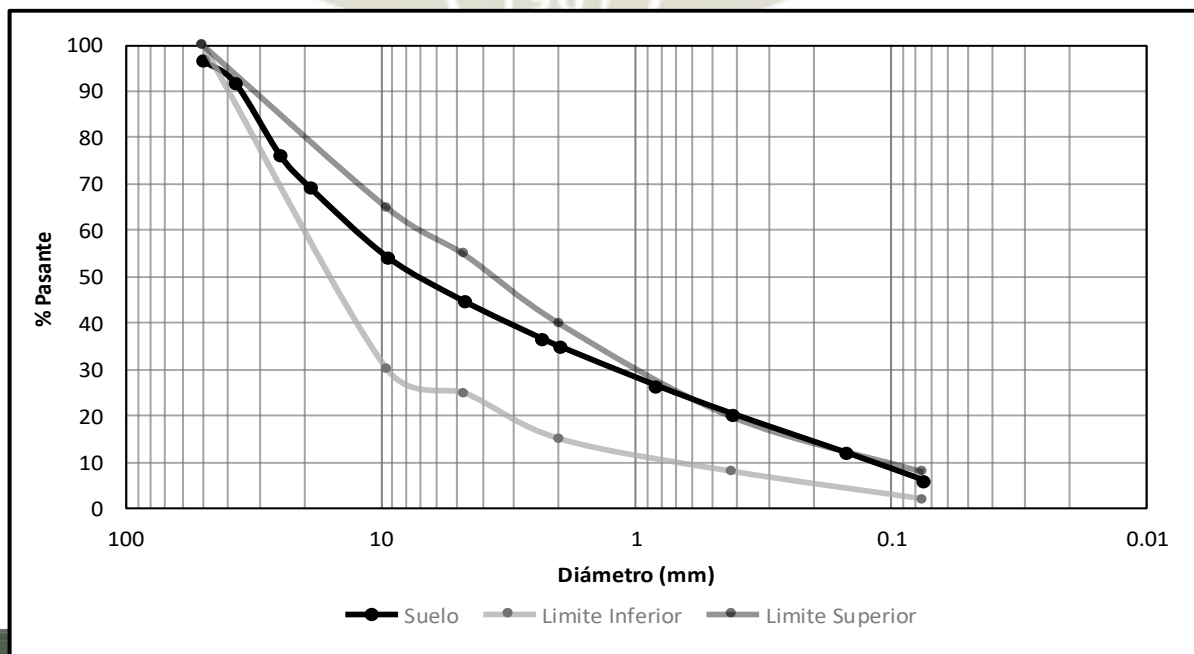
NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA	: 01
MUESTRA	: SUELO DE BASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos	
2"	50	168.47	3.35	3.35	96.65	Total de Muestra (gf): 5026.1 Retenido #4 (gf): 2777.3 Pasante #4 (gf): 2248.8 D10: 0.11 Cu: 127.3 D30: 1.20 Cc: 0.9 D60: 14.00 LL: 18.6 IP: 0 LP: 21.8	
1 1/2"	37.5	238.91	4.75	8.11	91.89		
1"	25	784.05	15.60	23.70	76.30		
3/4"	19	356.91	7.10	30.81	69.19		
3/8"	9.5	748.83	14.90	45.70	54.30		
4	4.75	480.11	9.55	55.26	44.74		
8	2.36	404.32	8.04	63.30	36.70		
10	2	87.66	1.74	65.05	34.95		
20	0.85	415.40	8.26	73.31	26.69		
40	0.425	309.91	6.17	79.48	20.52		
100	0.15	428.65	8.53	88.01	11.99	CLASIFICACIÓN SUCS Grava limosa mal graduada (GP-GM)	
200	0.075	296.56	5.90	93.91	6.09		CLASIFICACIÓN ASTM A-1-a (0)
fondo	-	306.32	6.09	100.00	0.00		





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

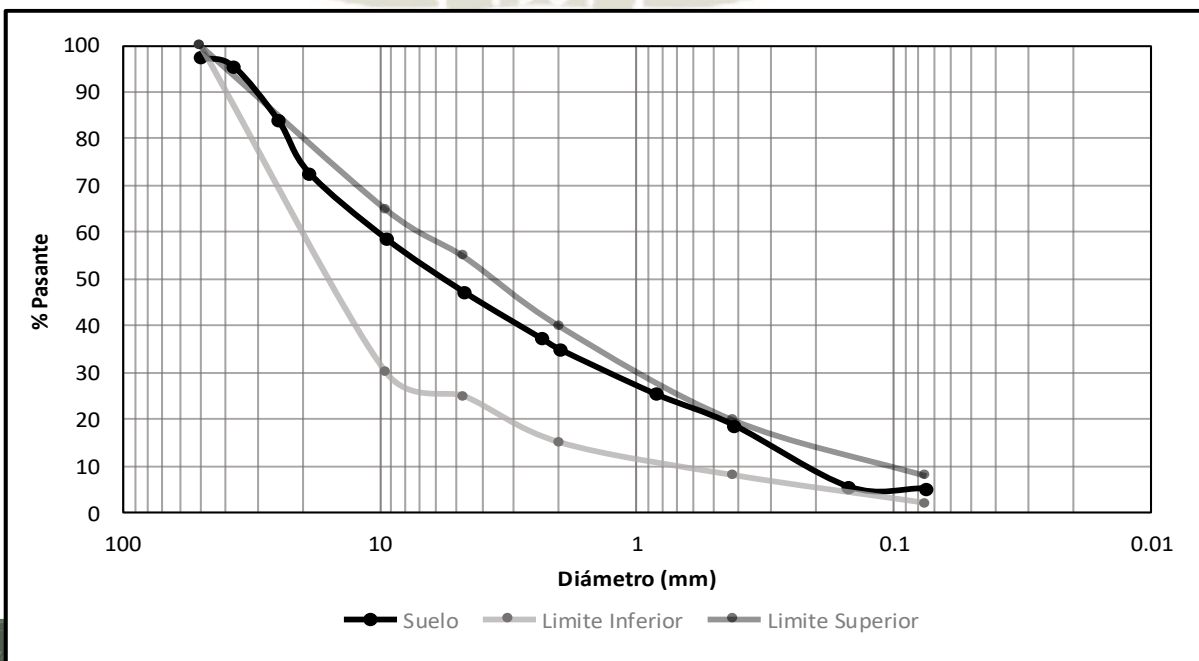
NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: SUELO DE BASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos	
2"	50	131.43	2.61	2.61	97.39	Total de Muestra (gf): 5038.3	
1 1/2"	37.5	89.56	1.78	4.39	95.61	Retenido #4 (gf): 2652.6	
1"	25	583.69	11.59	15.97	84.03	Pasante #4 (gf): 2385.7	
3/4"	19	563.67	11.19	27.16	72.84	D10: 0.21	Cu: 47.6
3/8"	9.5	714.35	14.18	41.34	58.66	D30: 1.20	Cc: 0.7
4	4.75	569.92	11.31	52.65	47.35	D60: 10.00	LL: 17.7
8	2.36	504.99	10.02	62.67	37.33	IP: 0.7	LP: 17
10	2	118.35	2.35	65.02	34.98	CLASIFICACIÓN SUCS	
20	0.85	478.93	9.51	74.53	25.47	Grava limosa mal graduada (GP-GM)	
40	0.425	330.45	6.56	81.09	18.91	CLASIFICACIÓN ASTM	
100	0.15	668.97	13.28	94.36	5.64	A-1-a (0)	
200	0.075	17.57	0.35	94.71	5.29		
fondo	-	266.43	5.29	100.00	0.00		





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MANUAL

NORMA ASTM D-422, NTP 400.022, MTC E 107

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

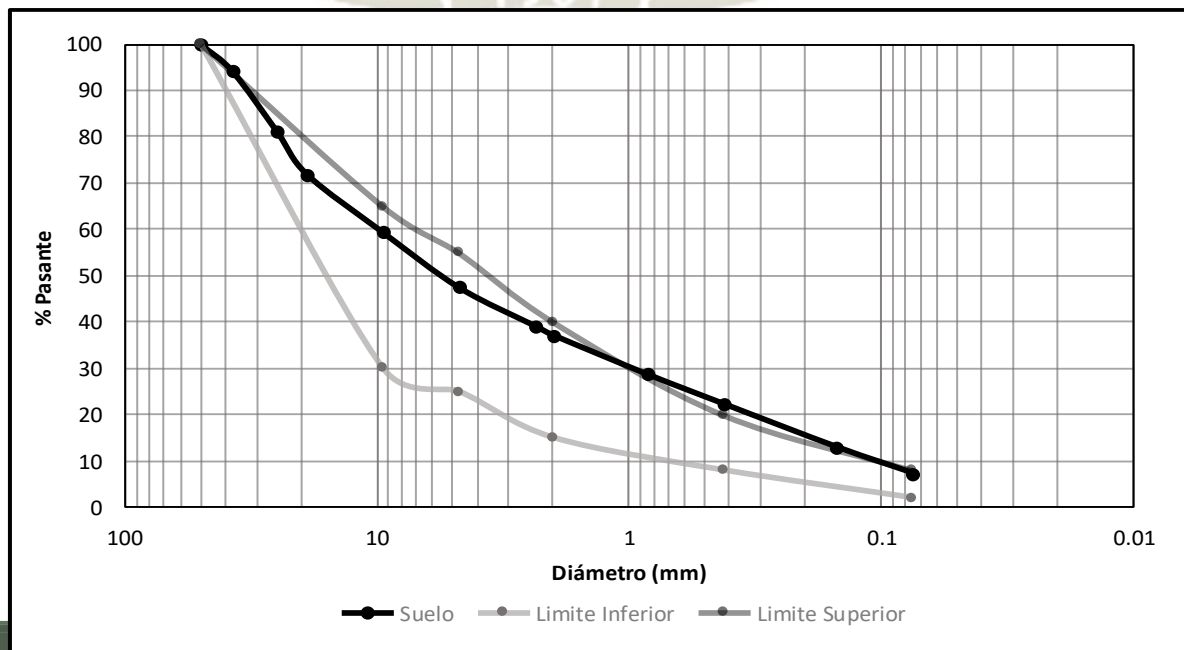
Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra

CALICATA : 03

MUESTRA : SUELO DE BASE

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido (gf)	% retenido	% Ret Acumul	% Pasante	Datos
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	Total de Muestra (gf): 4986.2 Retenido #4 (gf): 2615.2 Pasante #4 (gf): 2371.0 D10: 0.10 Cu: 100.0 D30: 1.00 Cc: 1.0 D60: 10.00 LL: 17.7 IP: 0 LP: 27.3
1 1/2"	37.5	288.96	5.80	5.80	94.20	
1"	25	649.77	13.03	18.83	81.17	
3/4"	19	460.16	9.23	28.06	71.94	
3/8"	9.5	623.96	12.51	40.57	59.43	
4	4.75	592.31	11.88	52.45	47.55	
8	2.36	416.19	8.35	60.79	39.21	
10	2	98.69	1.98	62.77	37.23	
20	0.85	418.65	8.40	71.17	28.83	
40	0.425	316.68	6.35	77.52	22.48	
100	0.15	467.91	9.38	86.91	13.09	
200	0.075	280.06	5.62	92.52	7.48	
fondo	-	372.86	7.48	100.00	0.00	
CLASIFICACIÓN SUCS						Grav a limosa bien graduada (GW-GM)
CLASIFICACIÓN ASTM						
A-1-a (0)						





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

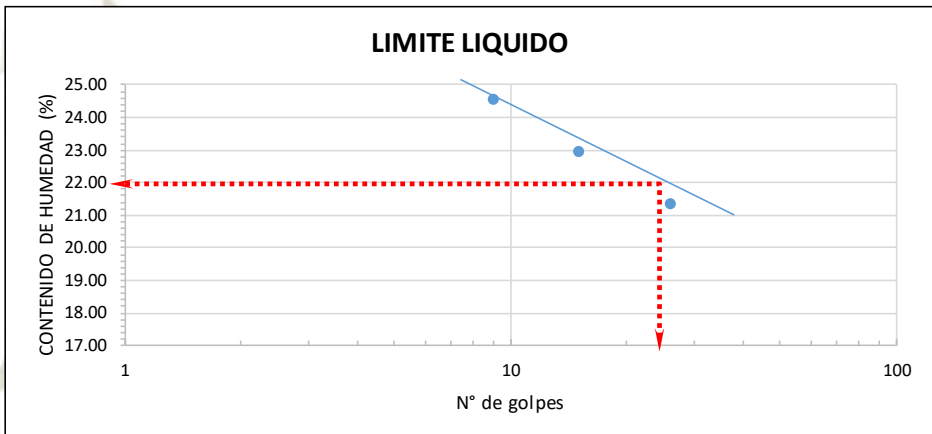
LIMITES DE ATTERBERG

ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 01
MUESTRA	: MATERIAL DE SUBRASANTE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	37.9	46.8	38.2	
P. capsula + S. Seco	32.6	40.1	33.4	
Agua	5.3	6.7	4.8	
Peso Capsula	11.0	10.9	10.9	
Suelo Seco	21.6	29.2	22.5	
% de Humedad	24.54	22.95	21.33	
No. De Golpes	9	15	26	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14.8	15.5	-	
P. capsula + S. Seco	14	14.7	-	
Agua	0.8	0.8	-	
Peso Capsula	11.1	11.1	-	
Suelo Seco	2.9	3.6	-	
% de Humedad	27.59	22.22	-	
LIMITE LIQUIDO	24.54	22.95	21.33	22.0%
LIMITE PLASTICO	27.59	22.22		24.9%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

LIMITES DE ATTERBERG

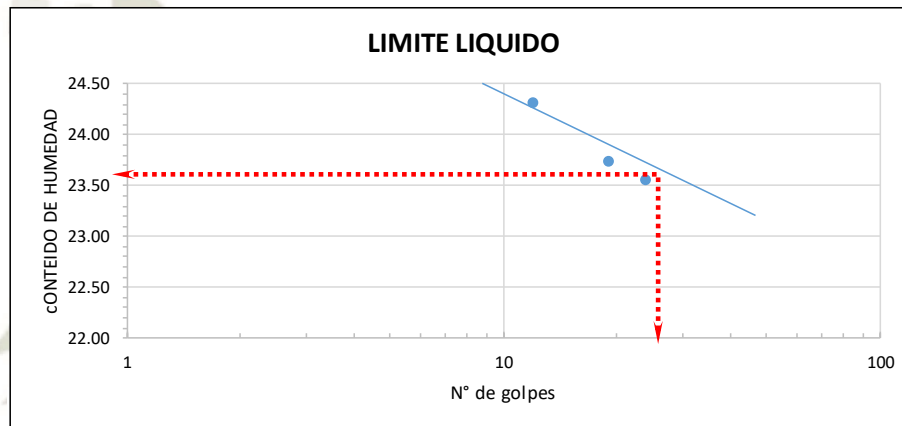
ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE SUBRASANTE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	38.1	32.8	38.7	
P. capsula + S. Seco	32.8	28.6	33.4	
Agua	5.3	4.2	5.3	
Peso Capsula	11.0	10.9	10.9	
Suelo Seco	21.8	17.7	22.5	
% de Humedad	24.31	23.73	23.56	
No. De Golpes	12	19	24	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14	14.8	-	
P. capsula + S. Seco	13.2	14.2	-	
Agua	0.8	0.6	-	
Peso Capsula	10.9	11.2	-	
Suelo Seco	2.3	3	-	
% de Humedad	34.78	20.00	-	
LIMITE LIQUIDO	24.31	23.73	23.56	23.6%
LIMITE PLASTICO	34.78	20.00		27.4%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:

.....
.....
.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

LIMITES DE ATTERBERG

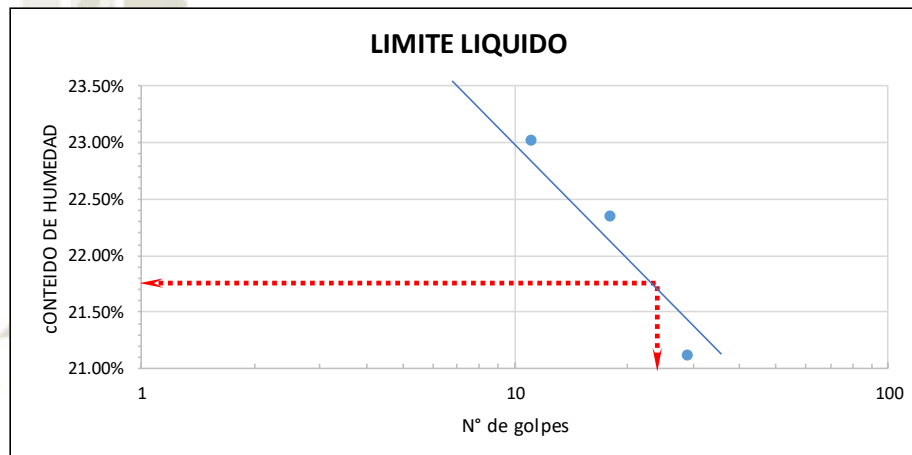
ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTDMD-424 /MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	42.8	52.2	45.3	
P. capsula + S. Seco	36.7	45.4	39.8	
Agua	6.1	6.8	5.5	
Peso Capsula	11.2	11.1	11.3	
Suelo Seco	25.5	34.3	28.5	
% de Humedad	23.92	19.83	19.30	
No. De Golpes	7	16	26	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14	14.8	-	
P. capsula + S. Seco	13.2	14.2	-	
Agua	0.8	0.6	-	
Peso Capsula	10.9	11.2	-	
Suelo Seco	2.3	3	-	
% de Humedad	34.78	20.00	-	
LIMITE LIQUIDO	23.92	19.83	19.30	21.8%
LIMITE PLASTICO	34.78	20.00		27.4%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:

.....

.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

LIMITES DE ATTERBERG

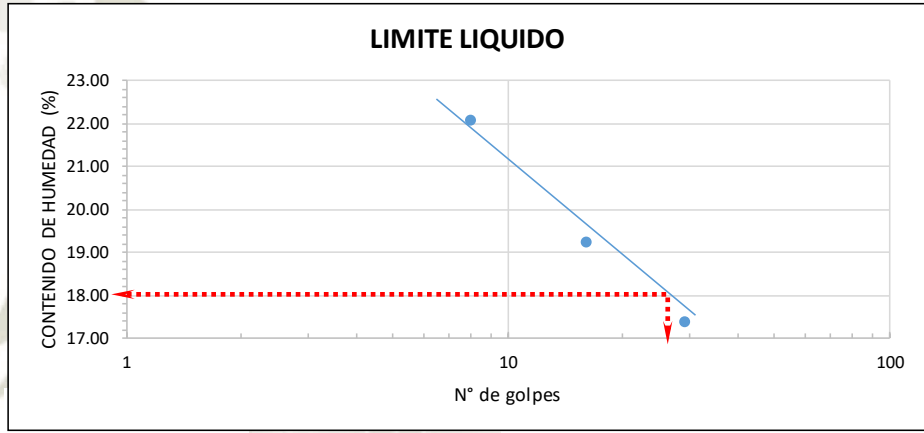
ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 01
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	38.1	45	38.6	
P. capsula + S. Seco	33.2	39.5	34.5	
Agua	4.9	5.5	4.1	
Peso Capsula	11.0	10.9	10.9	
Suelo Seco	22.2	28.6	23.6	
% de Humedad	22.07	19.23	17.37	
No. De Golpes	8	16	29	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14.7	14.9	-	
P. capsula + S. Seco	13.9	14.1	-	
Agua	0.8	0.8	-	
Peso Capsula	11.1	11.1	-	
Suelo Seco	2.8	3	-	
% de Humedad	28.57	26.67	-	
LIMITE LIQUIDO	22.07	19.23	17.37	18.2%
LIMITE PLASTICO	28.57	26.67		27.6%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

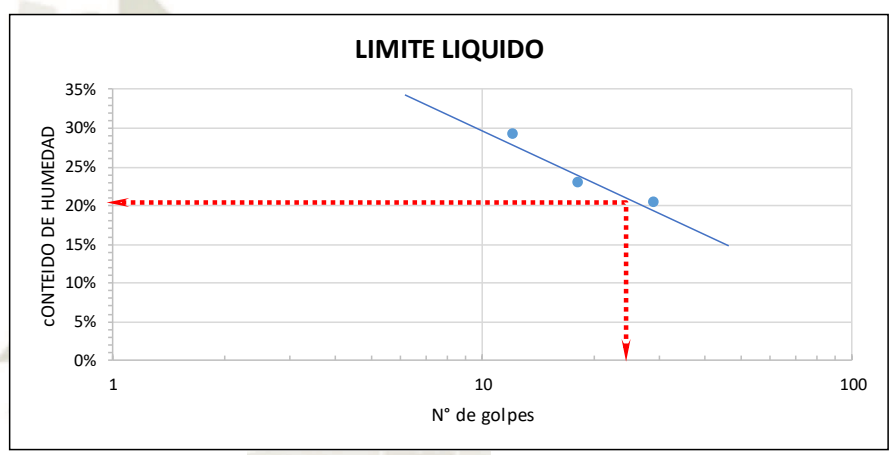
LIMITES DE ATTERBERG

ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTDMD-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: MATERIAL DE SUBBASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	37.9	35	34.3	
P. capsula + S. Seco	31.8	30.5	30.4	
Agua	6.1	4.5	3.9	
Peso Capsula	10.9	10.9	11.2	
Suelo Seco	20.9	19.6	19.2	
% de Humedad	29.19	22.96	20.31	
No. De Golpes	12	18	19	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14.3	14.3	-	
P. capsula + S. Seco	13.8	13.8	-	
Agua	0.5	0.5	-	
Peso Capsula	11.2	11.3	-	
Suelo Seco	2.6	2.5	-	
% de Humedad	19.23	20.00	-	
LIMITE LIQUIDO	29.19	22.96	20.31	20.5%
LIMITE PLASTICO	19.23	20.00		19.6%
INDICE DE PLASTICIDAD				0.9%

Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

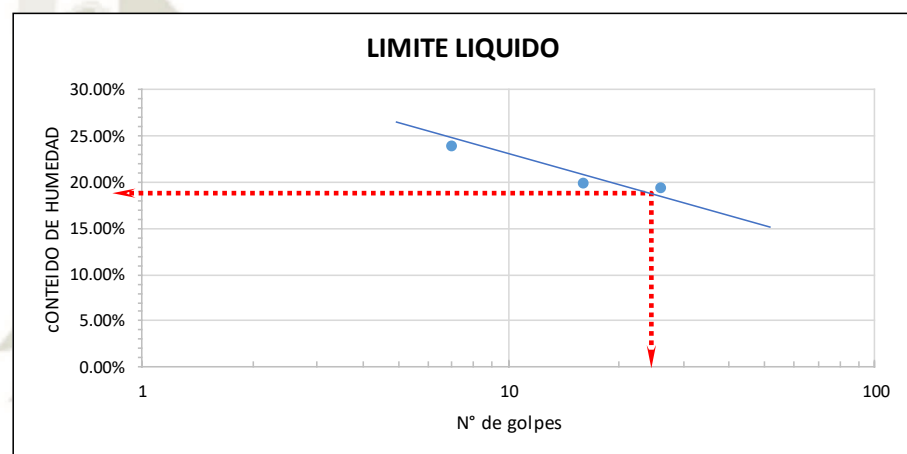
LIMITES DE ATTERBERG

ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTDMD-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 03
MUESTRA	: MATERIAL DESUBBASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	42.8	52.2	45.3	
P. capsula + S. Seco	36.7	45.4	39.8	
Agua	6.1	6.8	5.5	
Peso Capsula	11.2	11.1	11.3	
Suelo Seco	25.5	34.3	28.5	
% de Humedad	23.92	19.83	19.30	
No. De Golpes	7	16	26	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	15.9	19.4	-	
P. capsula + S. Seco	15.1	18	-	
Agua	0.8	1.4	-	
Peso Capsula	10.9	11.1	-	
Suelo Seco	4.2	6.9	-	
% de Humedad	19.05	20.29	-	
LIMITE LIQUIDO	23.92	19.83	19.30	19.0%
LIMITE PLASTICO	19.05	20.29		19.7%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

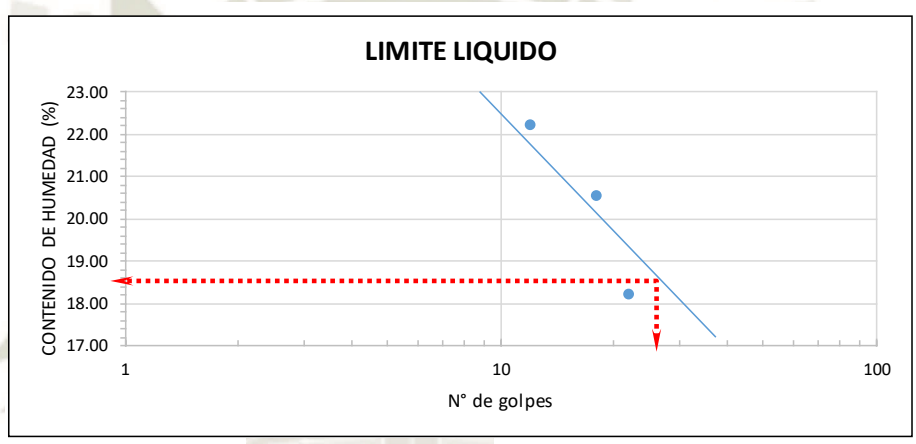
LIMITES DE ATTERBERG

ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 01
MUESTRA	: MATERIAL DE BASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	37.4	46.1	37.5	
P. capsula + S. Seco	32.6	40.1	33.4	
Agua	4.8	6	4.1	
Peso Capsula	11.0	10.9	10.9	
Suelo Seco	21.6	29.2	22.5	
% de Humedad	22.22	20.55	18.22	
No. De Golpes	12	18	22	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14.7	15.4	-	
P. capsula + S. Seco	14	14.7	-	
Agua	0.7	0.7	-	
Peso Capsula	11.1	11.1	-	
Suelo Seco	2.9	3.6	-	
% de Humedad	24.14	19.44	-	
LIMITE LIQUIDO	22.22	20.55	18.22	18.6%
LIMITE PLASTICO	24.14	19.44		21.8%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

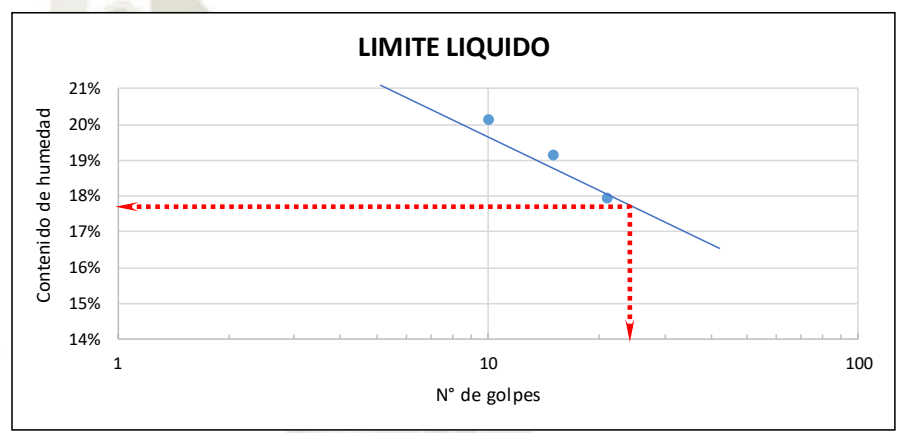
LIMITES DE ATTERBERG

ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	: 02
MUESTRA	: MATERIAL DE BASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	38.4	45.1	38.5	
P. capsula + S. Seco	33.8	39.6	34.3	
Agua	4.6	5.5	4.2	
Peso Capsula	11.0	10.9	10.9	
Suelo Seco	22.8	28.7	23.4	
% de Humedad	20.18	19.16	17.95	
No. De Golpes	10	15	21	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
N° de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	14.5	15.3	-	
P. capsula + S. Seco	14	14.7	-	
Agua	0.5	0.6	-	
Peso Capsula	11.1	11.1	-	
Suelo Seco	2.9	3.6	-	
% de Humedad	17.24	16.67	-	
LIMITE LIQUIDO	20.18	19.16	17.95	17.7%
LIMITE PLASTICO	17.24	16.67		17.0%
INDICE DE PLASTICIDAD				0.7%

Observaciones:
.....
.....
.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

LIMITES DE ATTERBERG

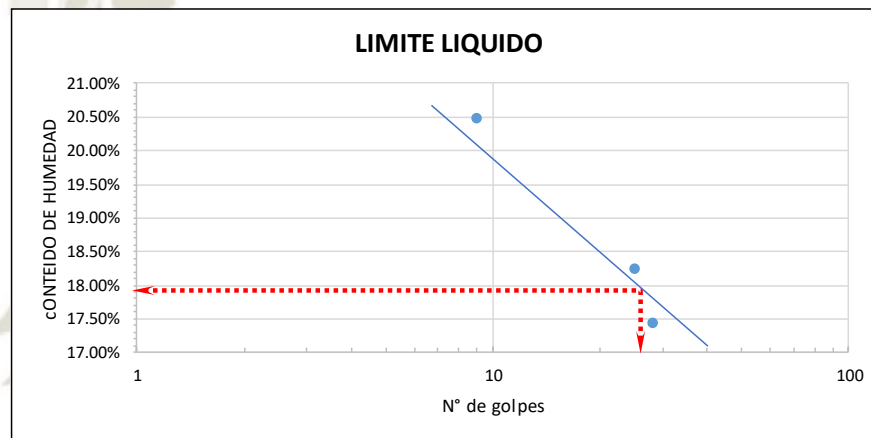
ASTM D-4318 / ASTM D-423 / ASTM D-424 / MTC E 110 / MTC E111

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

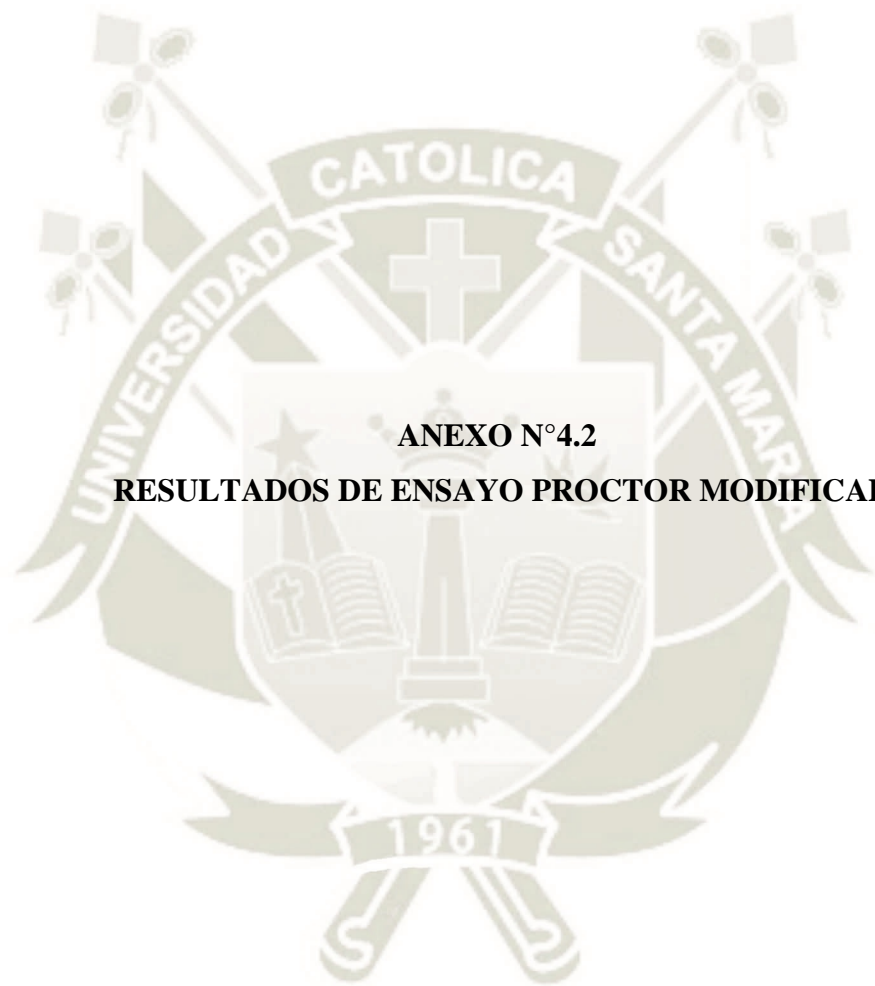
CALICATA : 03
MUESTRA : MATERIAL DE BASE

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



LIMITE LIQUIDO	I	II	III	
Nº de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	36.9	44.9	46.8	
P. capsula + S. Seco	32.5	39.7	41.5	
Agua	4.4	5.2	5.3	
Peso Capsula	11.0	11.2	11.1	
Suelo Seco	21.5	28.5	30.4	
% de Humedad	20.47	18.25	17.43	
No. De Golpes	9	25	28	
LIMITE PLASTICO	I	II	III	
Nº de Capsula	1	2	3	
P. capsula + S. humedo	16.6	17.8	-	
P. capsula + S. Seco	15.8	16	-	
Agua	0.8	1.8	-	
Peso Capsula	11.1	11.2	-	
Suelo Seco	4.7	4.8	-	
% de Humedad	17.02	37.50	-	
LIMITE LIQUIDO	20.47	18.25	17.43	17.7%
LIMITE PLASTICO	17.02	37.50		27.3%
INDICE DE PLASTICIDAD				NP

Observaciones:



ANEXO N°4.2

RESULTADOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

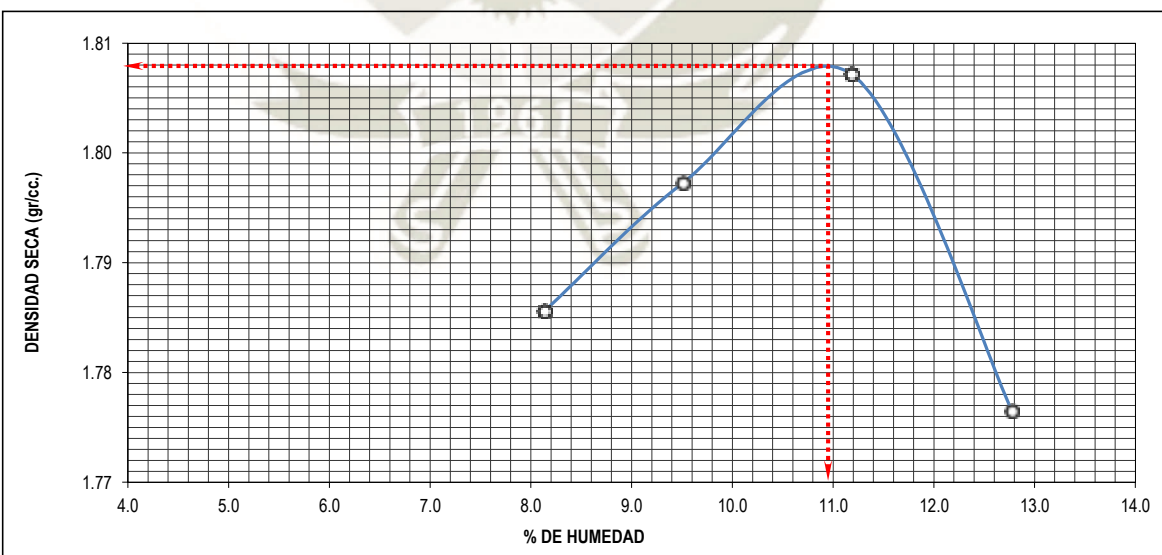
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 01
MUESTRA : MATERIAL DE SUBRASANTE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :		PROCTOR MODIFICADO METODO - A					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	947.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :			3841.00	MOLDE Nro.	2
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE		5671.3	5706.6	5745.6	5740.1		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1830.3	1865.6	1904.6	1899.1		
DENSIDAD HUMEDA		1.931	1.968	2.009	2.003		
CAPSULA Nro.		25	25	25	25		
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA		167.00	192.80	182.60	175.00		
PESO SUELOS SECO + CAPSULA		156.60	178.50	167.00	158.30		
PESO DE LA CAPSULA		28.80	28.10	27.50	27.60		
PESO DE AGUA		10.4	14.3	15.6	16.7		
PESO DE SUELO SECO		127.8	150.4	139.5	130.7		
CONTENIDO DE AGUA		8.14	9.51	11.18	12.78		
DENSIDAD SECA		1.786	1.797	1.807	1.776		
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.808	gr/cc.		HUMEDAD OPTIMA:	10.90	%	



Observaciones:

.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

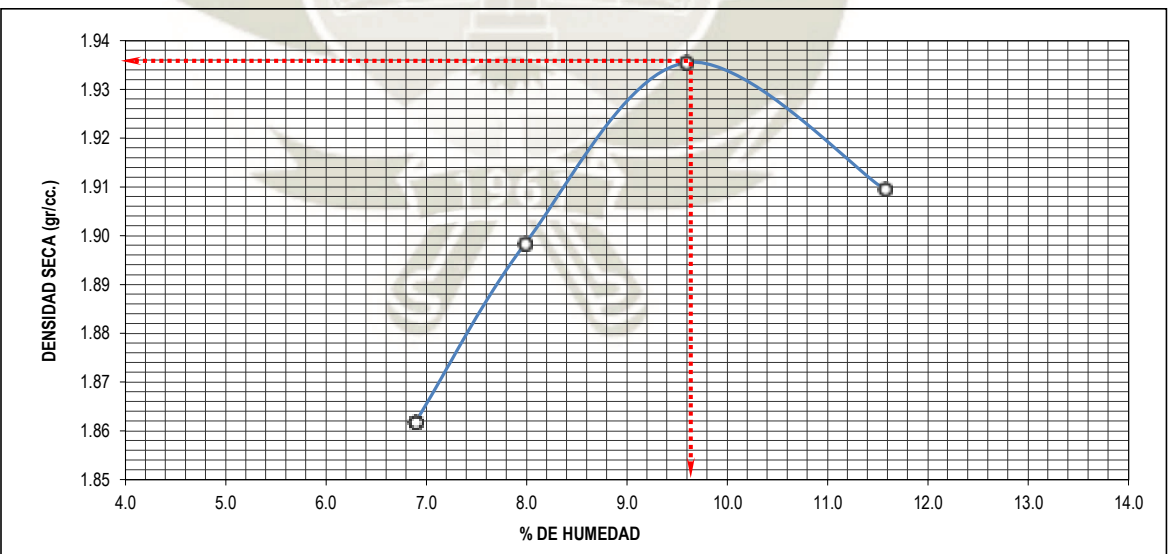
NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	01
MUESTRA :	MATERIAL DE SUBBASE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO METODO - C						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2098.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :			6534.00	MOLDE Nro.	2
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO + MOLDE	10711	10837	10986	11005.6			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	6870	6996	7145	7164.6			
DENSIDAD HUMEDA	7.248	7.380	7.538	7.558			
CAPSULA Nro.	25	25	25	25			
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	119.20	138.30	162.10	158.30			
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	113.30	130.10	150.40	144.90			
PESO DE LA CAPSULA	27.70	27.40	28.40	29.10			
PESO DE AGUA	5.9	8.2	11.7	13.4			
PESO DE SUELO SECO	85.6	102.7	122.0	115.8			
CONTENIDO DE AGUA	6.89	7.98	9.59	11.57			
DENSIDAD SECA	6.780	6.834	6.878	6.774			
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.936	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		9.64	%	



Observaciones:

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

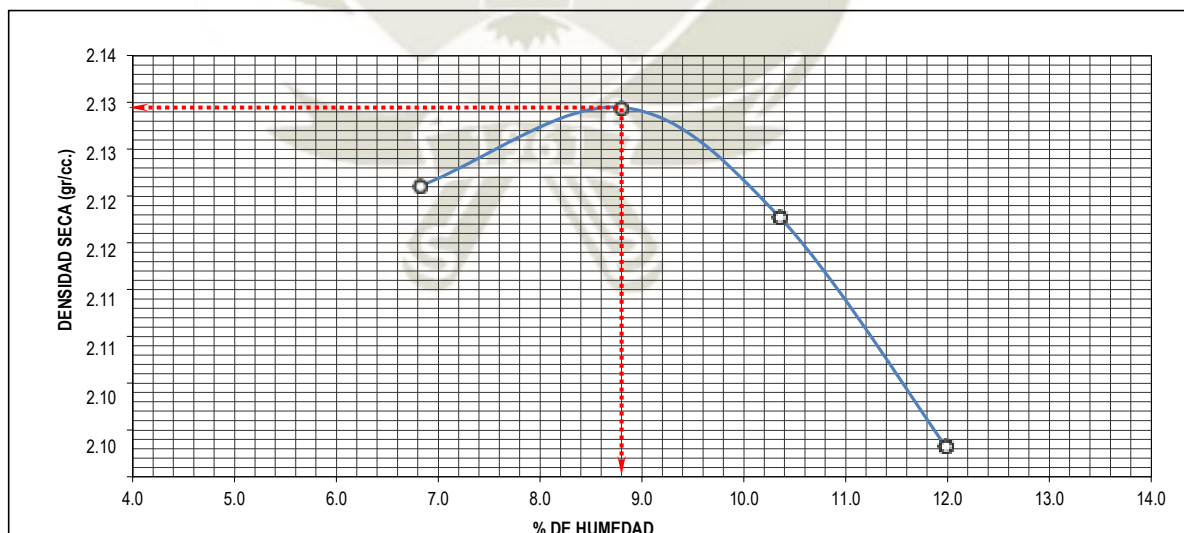
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 01
MUESTRA : MATERIAL DE BASE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :		PROCTOR MODIFICADO METODO - C						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2098.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :				6534.00	MOLDE Nro.	3
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4				
PESO SUELO + MOLDE	11289.5	11396.5	11439.0	11454.0				
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	7449	7556	7598	7613				
DENSIDAD HUMEDA	7.858	7.971	8.016	8.031				
CAPSULA Nro.	25	25	25	25				
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	159.10	154.30	331.98	381.90				
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	150.80	143.60	311.50	353.30				
PESO DE LA CAPSULA	29.10	21.90	113.60	114.60				
PESO DE AGUA	8.3	10.7	20.5	28.6				
PESO DE SUELO SECO	121.7	121.7	197.9	238.7				
CONTENIDO DE AGUA	6.82	8.79	10.35	11.98				
DENSIDAD SECA	7.356	7.327	7.264	7.172				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.128	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		8.80	%		



Observaciones:

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

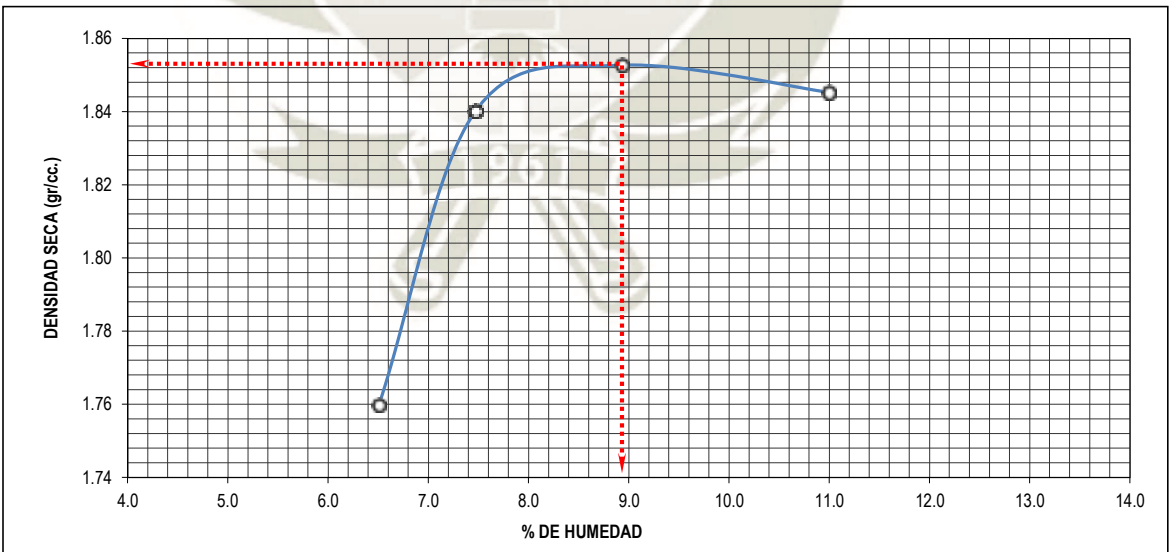
NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	02
MUESTRA :	MATERIAL DE SUBRASANTE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO METODO -A						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	947.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :			3838.50	MOLDE Nro.	1
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO + MOLDE	5615.0	5713.0	5751.5	5780.0			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1777	1875	1913	1942			
DENSIDAD HUMEDA	1.874	1.978	2.018	2.048			
CAPSULA Nro.	25	12	20	24			
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	191.20	165.60	173.10	171.90			
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	181.20	156.00	161.20	157.60			
PESO DE LA CAPSULA	27.50	27.50	28.00	27.60			
PESO DE AGUA	10.0	9.6	11.9	14.3			
PESO DE SUELO SECO	153.7	128.5	133.2	130.0			
CONTENIDO DE AGUA	6.51	7.47	8.93	11.00			
DENSIDAD SECA	1.760	1.840	1.853	1.845			
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.852	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		8.95	%	



Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

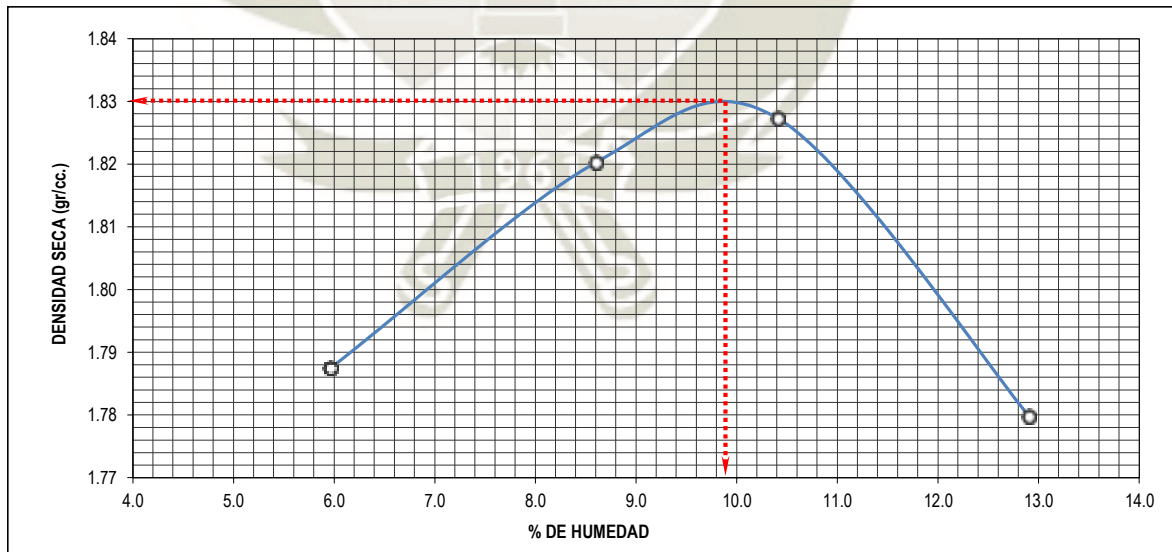
NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	02
MUESTRA :	MATERIAL DE SUBBASE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO METODO - B						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2113.99	PESO DEL MOLDE (gr.) :			6427.00	MOLDE Nro.	2
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO + MOLDE	10431	10606	10692	10675			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4004	4179	4265	4248			
DENSIDAD HUMEDA	1.894	1.977	2.018	2.009			
CAPSULA Nro.	25	25	25	25			
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	48.51	58.66	66.46	82.30			
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	45.78	55.17	61.57	74.56			
PESO DE LA CAPSULA	14.60	14.60	14.60	14.60			
PESO DE AGUA	2.7	3.5	4.9	7.7			
PESO DE SUELO SECO	45.8	40.6	47.0	60.0			
CONTENIDO DE AGUA	5.96	8.60	10.41	12.91			
DENSIDAD SECA	1.787	1.820	1.827	1.780			
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.830	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		9.85	%	



Observaciones:

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

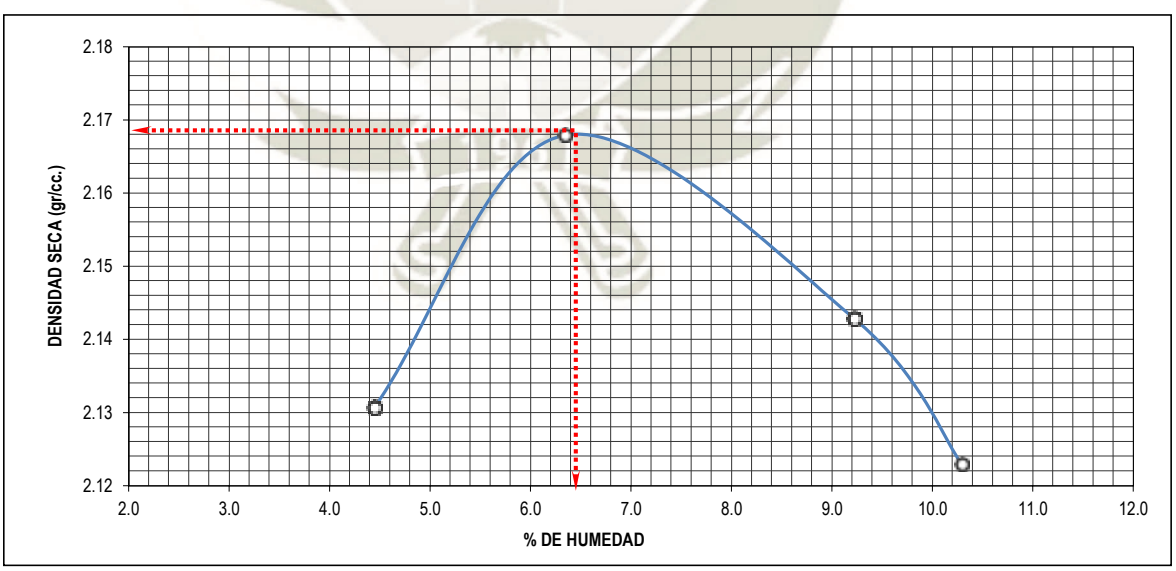
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	02
MUESTRA :	MATERIAL DE BASE

MAXIMA DENSIDAD						
METODO DE COMPACTACION :		PROCTOR MODIFICADO METODO - C				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2098.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :			6535.50	MOLDE Nro. 3
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE		11206.5	11374.5	11448.0	11450.0	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		4671.0	4839.0	4912.5	4914.5	
DENSIDAD HUMEDA		2.225	2.305	2.341	2.341	
CAPSULA Nro.		10	12	14	15	
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA		433.60	492.00	491.20	712.50	
PESO SUELOS SECO + CAPSULA		420.40	472.60	459.30	667.80	
PESO DE LA CAPSULA		123.60	166.90	113.60	233.50	
PESO DE AGUA		13.2	19.4	31.9	44.7	
PESO DE SUELO SECO		296.8	305.7	345.7	434.3	
CONTENIDO DE AGUA		4.45	6.35	9.23	10.29	
DENSIDAD SECA		2.131	2.168	2.143	2.123	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.168	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		6.42	%



Observaciones:
.....
.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

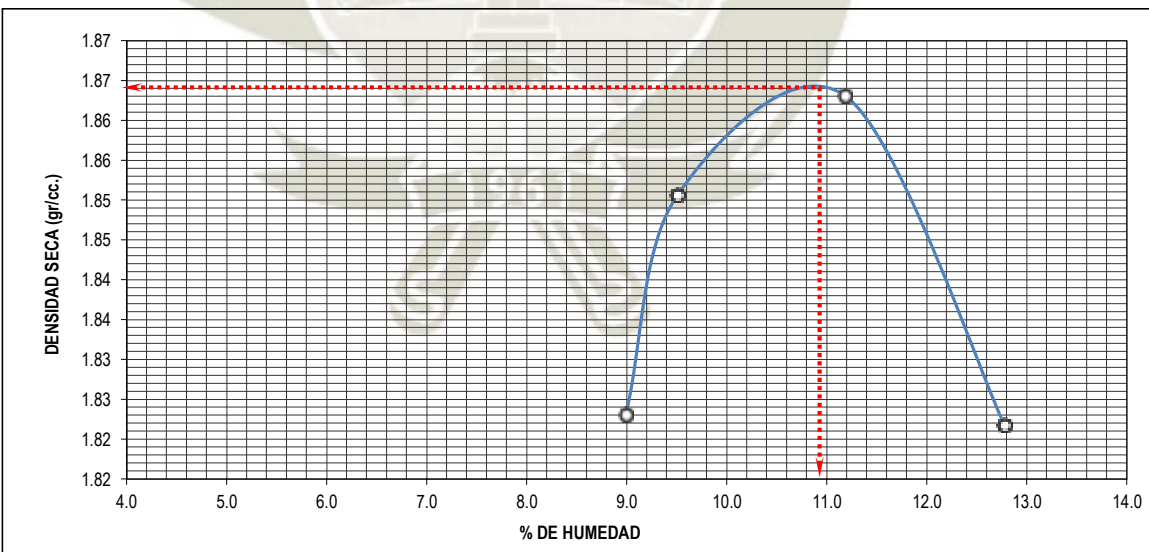
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 03
MUESTRA : MATERIAL DE SUBRASANTE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :		PROCTOR MODIFICADO METODO - A						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	947.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :				3843.00	MOLDE Nro.	2
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4				
PESO SUELO + MOLDE	5726.5	5764.0	5806.5	5790.5				
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1883.5	1921.0	1963.5	1947.5				
DENSIDAD HUMEDA	1.987	2.027	2.071	2.055				
CAPSULA Nro.	25	25	25	25				
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	167.00	192.80	182.60	175.00				
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	155.60	178.50	167.00	158.30				
PESO DE LA CAPSULA	28.80	28.10	27.50	27.60				
PESO DE AGUA	11.4	14.3	15.6	16.7				
PESO DE SUELO SECO	126.8	150.4	139.5	130.7				
CONTENIDO DE AGUA	8.99	9.51	11.18	12.78				
DENSIDAD SECA	1.823	1.851	1.863	1.822				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.868	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		10.92	%		



Observaciones:

.....

.....

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

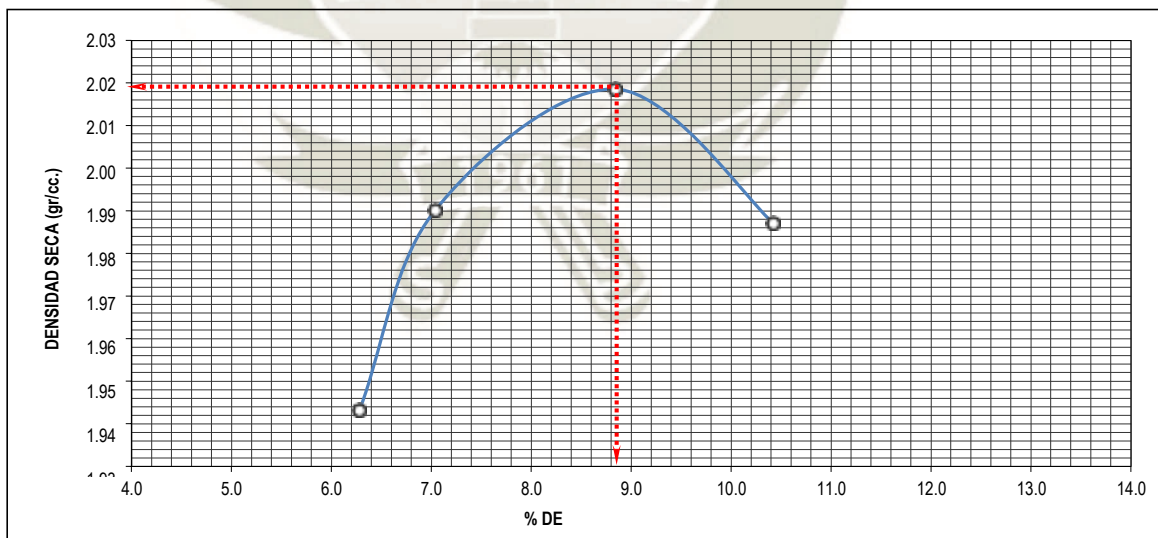
FECHA : NOVIEMBRE 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 03
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO METODO - C						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2123.10	PESO DEL MOLDE (gr.) :			6534.00	MOLDE Nro.	5
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4			
PESO SUELO + MOLDE	10918.5	11056.5	11198.5	11192.5			
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4384.5	4522.5	4664.5	4658.5			
DENSIDAD HUMEDA	2.065	2.130	2.197	2.194			
CAPSULA Nro.	25	25	25	25			
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	188.30	157.20	175.30	157.30			
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	178.80	148.70	163.40	145.20			
PESO DE LA CAPSULA	27.50	27.90	28.80	29.10			
PESO DE AGUA	9.5	8.5	11.9	12.1			
PESO DE SUELO SECO	151.3	120.8	134.6	116.1			
CONTENIDO DE AGUA	6.28	7.04	8.84	10.42			
DENSIDAD SECA	1.943	1.990	2.019	1.987			
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.019	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:	8.82	%		



Observaciones:

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

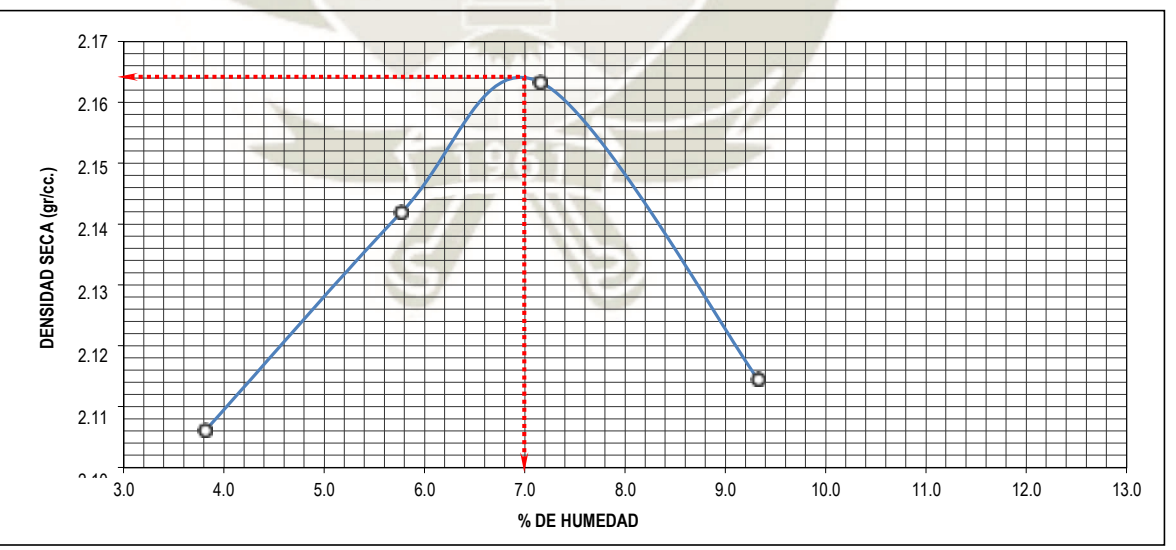
NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140, ASTM D 1557, MTC E 115

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : NOVIEMBRE 2018

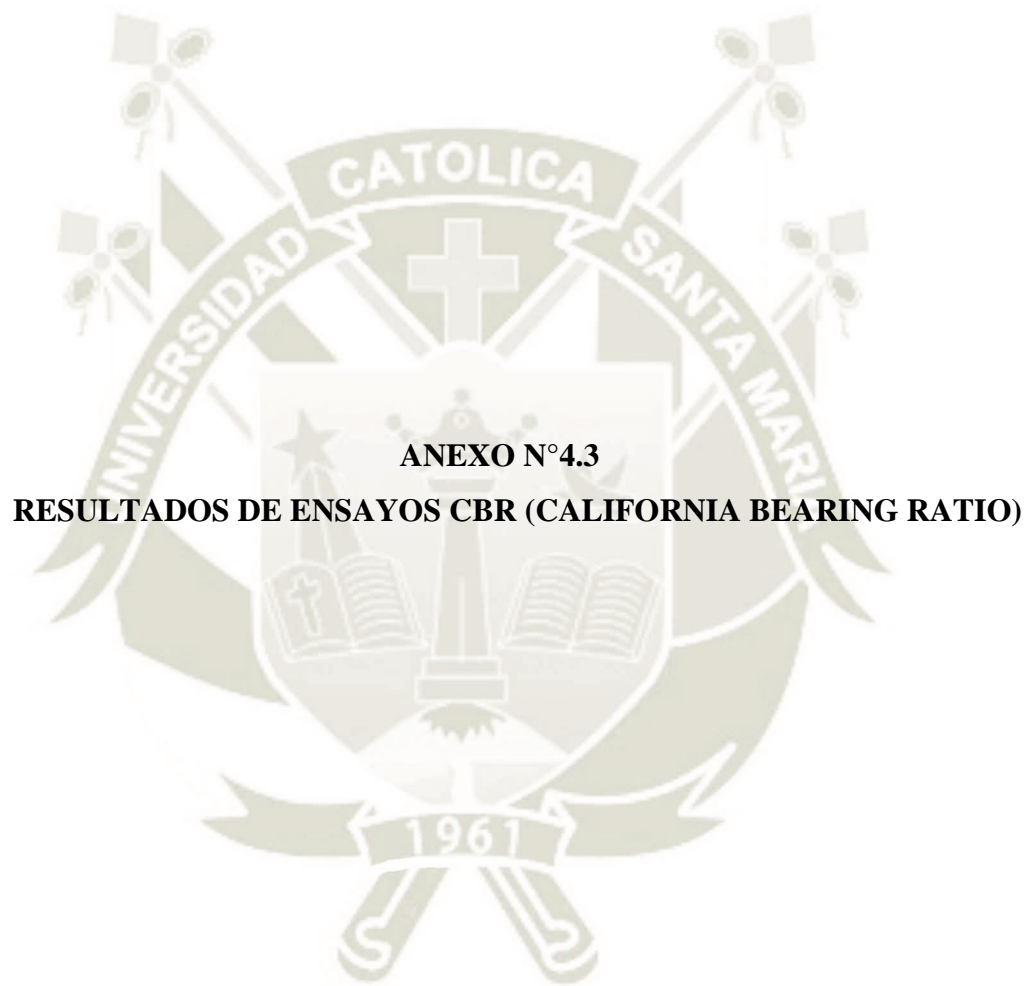
DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	03
MUESTRA :	MATERIAL DE BASE

MAXIMA DENSIDAD

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO METODO - C						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2098.90	PESO DEL MOLDE (gr.) :			6535.50	MOLDE Nro.	3
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE		11124.5	11290.5	11401.0	11387.5		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		4589.0	4755.0	4865.5	4852.0		
DENSIDAD HUMEDA		2.186	2.265	2.318	2.312		
CAPSULA Nro.		10	12	14	15		
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA		193.10	190.70	161.20	212.80		
PESO SUELOS SECO + CAPSULA		187.00	181.80	152.30	197.00		
PESO DE LA CAPSULA		27.00	27.50	27.90	27.60		
PESO DE AGUA		6.1	8.9	8.9	15.8		
PESO DE SUELO SECO		160.0	154.3	124.4	169.4		
CONTENIDO DE AGUA		3.81	5.77	7.15	9.33		
DENSIDAD SECA		2.106	2.142	2.163	2.114		
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.164	gr/cc.		HUMEDAD OPTIMA:	7.00	%	



Observaciones:
.....
.....
.....





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

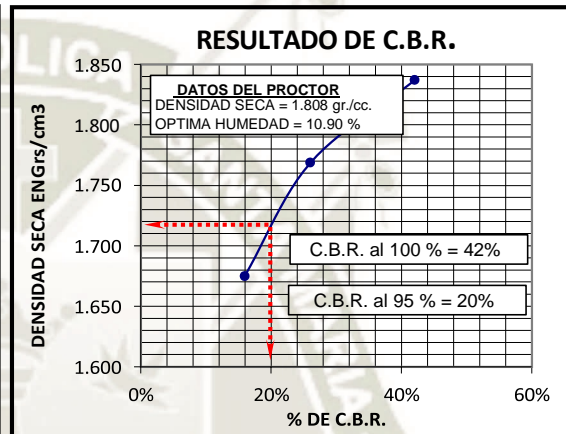
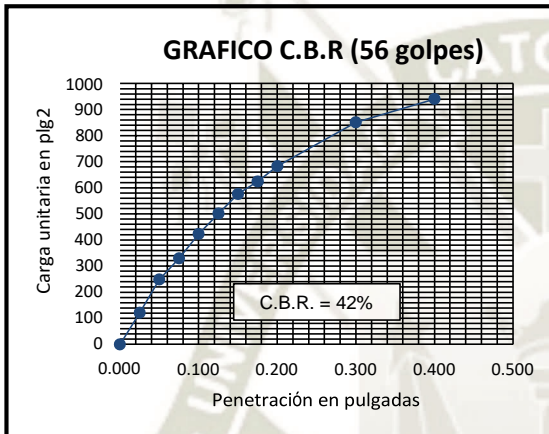
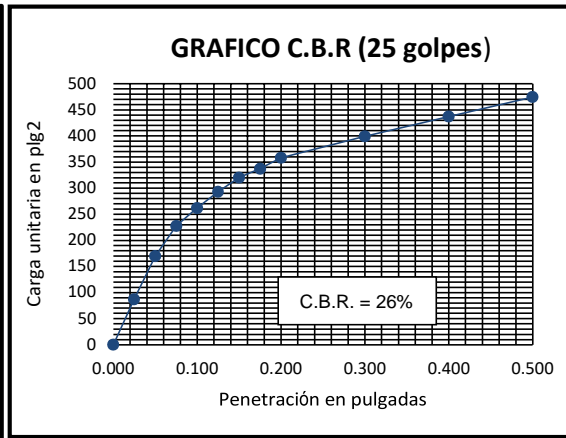
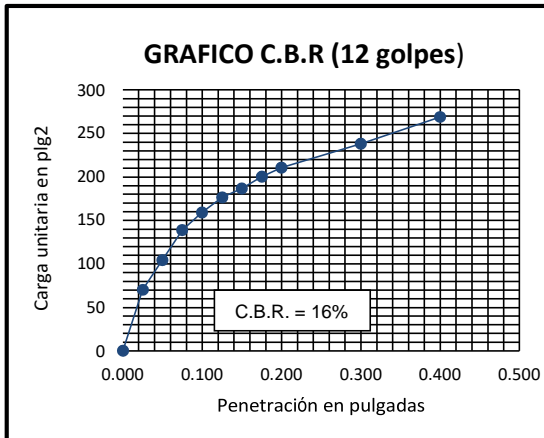
TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA						
CALICATA :	01					
MUESTRA :	MATERIAL DE SUBRASANTE					
COMPACTACION						
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO SUELO + MOLDE	12301.2	12595.0	12512.2	12726.8	13258.2	13374.9
PESO DEL MOLDE	8380.0	8380.0	8382.0	8382.0	8963.0	8963.0
PESO DEL SUELO HUMEDO	3921.2	4215.0	4130.2	4344.8	4295.2	4411.9
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	1.863	2.002	1.962	2.064	2.040	2.096
PESO SUELO HUMEDO + LATA	146.20	190.90	109.70	175.70	128.20	138.40
PESO SUELO SECO + LATA	134.20	168.50	101.80	157.30	118.20	125.80
PESO DE LA CAPSULA	27.2	27.7	29.5	27.3	27.8	27.0
PESO DE AGUA	12.0	22.4	7.9	18.4	10.0	12.6
PESO DEL SUELO SECO	107.00	140.80	72.30	130.00	90.40	98.80
% DE HUMEDAD	11.21	15.91	10.93	14.15	11.06	12.75
DENSIDAD SECA	1.675	1.728	1.769	1.808	1.837	1.859

PENETRACION										
PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		8	210	70	13	262	87	23	365	122
0.050		18	313	104	37	508	169	60	745	248
0.075		28	416	139	54	683	228	84	992	331
0.100	1000.00	34	478	159	64	786	262	111	1269	423
0.125		39	529	176	73	878	293	134	1505	502
0.150		42	560	187	81	961	320	156	1731	577
0.175		46	601	200	86	1012	337	170	1875	625
0.200		49	632	211	92	1074	358	187	2050	683
0.300		57	714	238	104	1197	399	236	2554	851
0.400		66	807	269	115	1310	437	262	2821	940
0.500					126	1423	474			

EXPANSION			
Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	500	600	559
Lectura final	501.5	601	559
%Expansión	1.2%	0.8%	0.0%



CBR AL 100%	42%
CBR AL 95%	20%

Observaciones:

.....

.....

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y**

ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 01
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

COMPACTACION

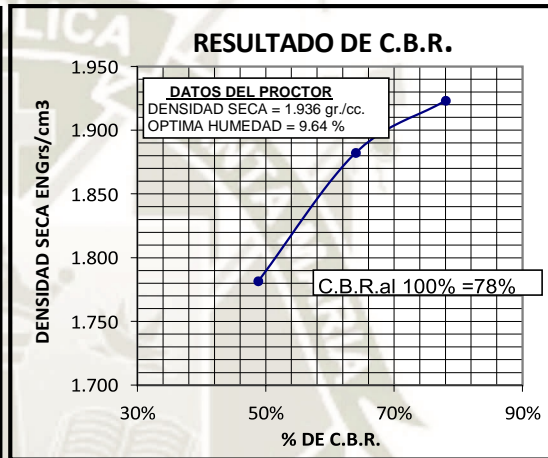
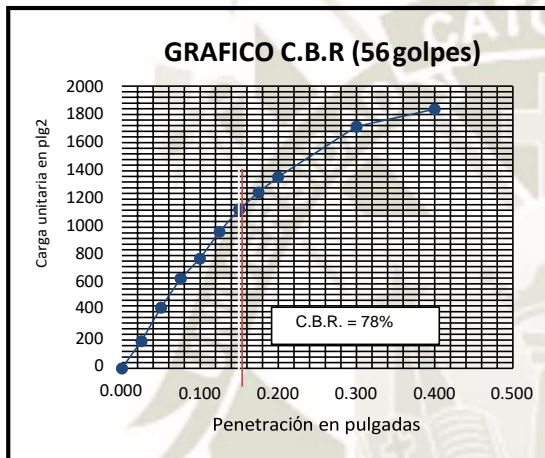
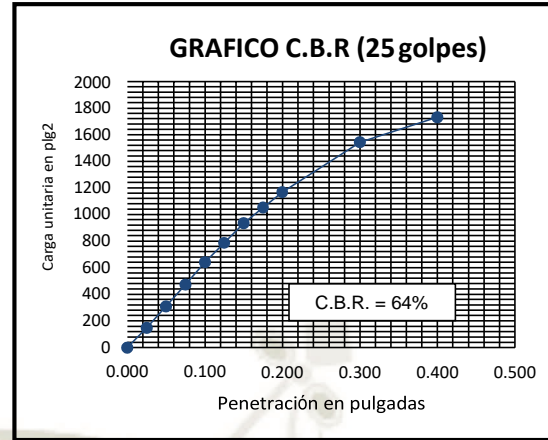
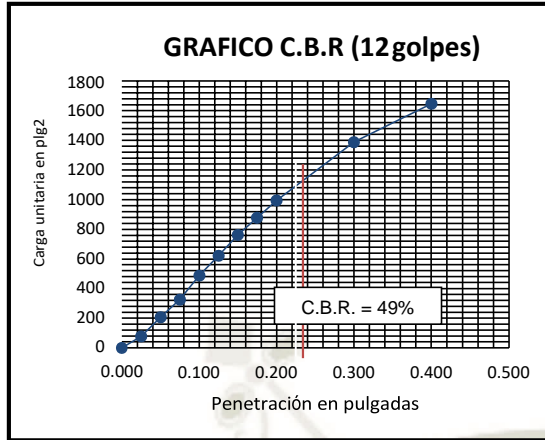
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	11652.3	11860.0	11853.6	11910.1	11902.5	12205.0
PESO DEL MOLDE	7544.5	7544.5	7533.0	7533.0	7473.5	7473.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	4107.8	4315.5	4320.6	4377.1	4429.0	4731.5
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	1.952	2.050	2.053	2.079	2.104	2.248
PESO SUELO HUMEDO + LATA	186.50	113.50	183.60	125.60	191.60	136.20
PESO SUELO SECO + LATA	172.60	104.50	170.60	118.20	177.50	124.30
PESO DE LA CAPSULA	27.0	26.9	26.9	27.5	27.6	28.8
PESO DE AGUA	13.9	9.0	13.0	7.4	14.1	11.9
PESO DEL SUELO SECO	145.60	77.60	143.70	90.70	149.90	95.50
% DE HUMEDAD	9.55	11.60	9.05	8.16	9.41	12.46
DENSIDAD SECA	1.781	1.837	1.882	1.923	1.923	1.999

PENETRACION

PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		10	231	77	31	447	149	43	570	190
0.050		48	622	207	78	930	310	113	1290	430
0.075		83	981	327	126	1418	473	173	1906	635
0.100	1000.00	130	1464	488	175	1922	641	214	2328	776
0.125		169	1865	622	217	2358	786	270	2903	968
0.150		210	2286	762	261	2805	935	316	3376	1125
0.175		244	2636	879	295	3160	1053	351	3736	1245
0.200		278	2985	995	328	3499	1166	383	4064	1355
0.300		393	4167	1389	438	4624	1541	487	5133	1711
0.400		468	4938	1646	493	5195	1732	523	5503	1834
0.500										

EXPANSION

Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	350	500	550
Lectura final	350	500	550
%Expansión	0.0%	0.0%	0.0%



CBR AL 100%	78%
-------------	-----

Observaciones:

.....

.....

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y**



ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

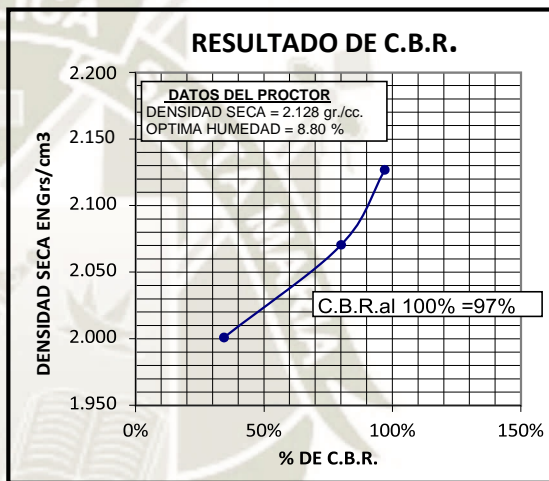
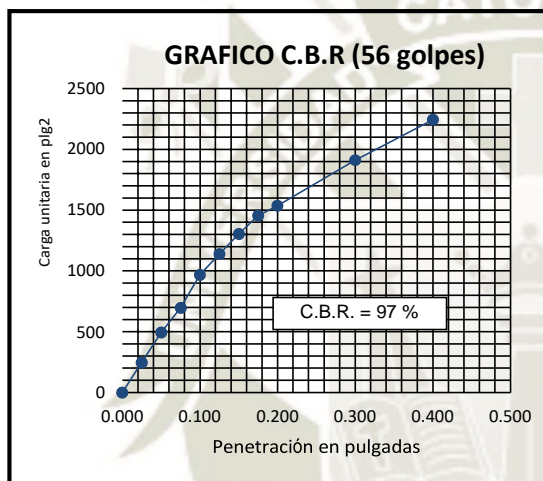
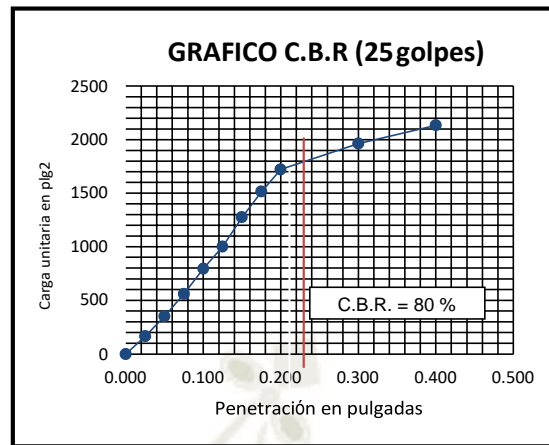
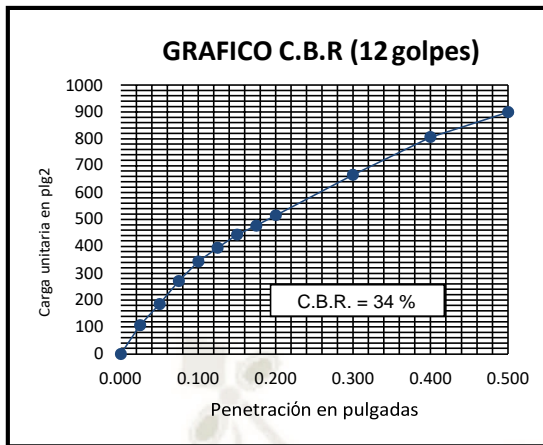
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	01
MUESTRA :	MATERIAL DE BASE

COMPACTACION						
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	12126.5	10201.3	12458.2	10586.1	12298.2	13205.6
PESO DEL MOLDE	7566.0	7566.0	7743.0	7743.0	7473.5	7473.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	4560.5	2635.3	4715.2	2843.1	4824.7	5732.1
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	2.167	1.252	2.240	1.351	2.292	2.723
PESO SUELO HUMEDO + LATA	170.20	113.70	134.40	131.30	137.60	134.80
PESO SUELO SECO + LATA	159.30	103.70	126.30	120.20	129.70	124.80
PESO DE LA CAPSULA	27.5	26.9	27.3	27.5	27.9	28.8
PESO DE AGUA	10.9	10.0	8.1	11.1	7.9	10.0
PESO DEL SUELO SECO	131.80	76.80	99.00	92.70	101.80	96.00
% DE HUMEDAD	8.27	13.02	8.18	11.97	7.76	10.42
DENSIDAD SECA	2.001	1.108	2.071	1.206	2.127	2.466

PENETRACION										
PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		19	324	108	36	498	166	60	745	248
0.050		42	560	187	90	1053	351	132	1485	495
0.075		67	817	272	151	1680	560	191	2091	697
0.100	1000.00	88	1033	344	220	2389	796	270	2903	968
0.125		103	1187	396	280	3006	1002	320	3417	1139
0.150		117	1331	444	360	3828	1276	368	3910	1303
0.175		127	1433	478	430	4547	1516	412	4362	1454
0.200		138	1546	515	490	5164	1721	436	4609	1536
0.300		182	1999	666	560	5883	1961	545	5729	1910
0.400		223	2420	807	610	6397	2132	642	6726	2242
0.500		250	2698	899						

EXPANSION			
Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	350	500	550
Lectura final	350	500	550
%Expansión	0.0%	0.0%	0.0%



CBR AL 100%	97%
-------------	-----

Observaciones:

.....

.....

.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y

ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE SUBRASANTE

COMPACTACION

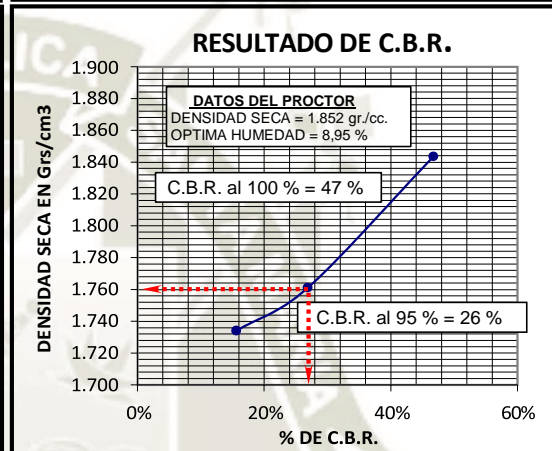
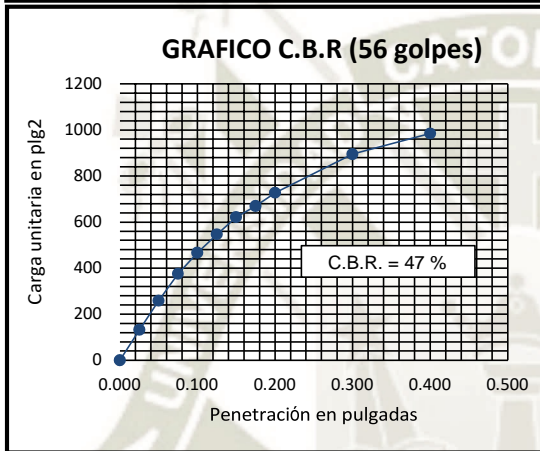
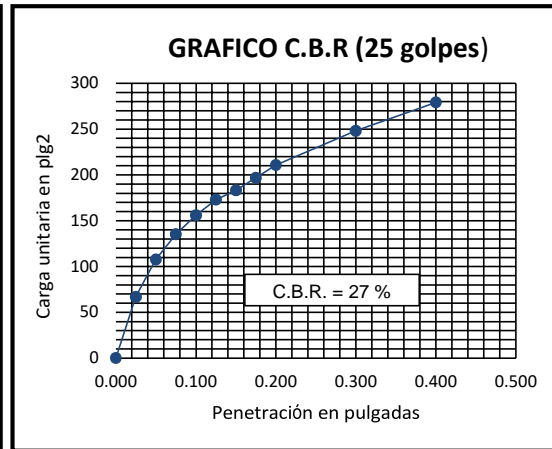
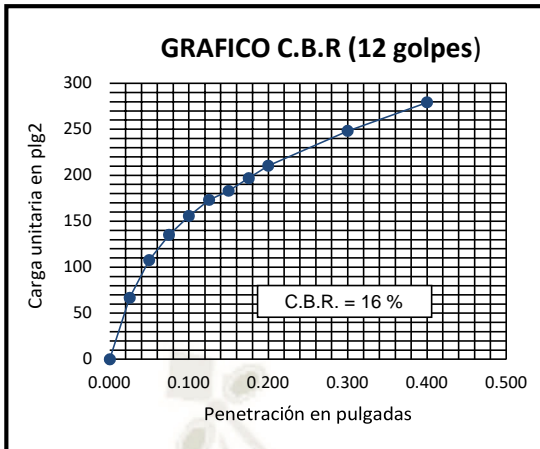
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	12286.3	12668.5	12451.7	12735.5	13189.2	13338.0
PESO DEL MOLDE	8331.0	8331.0	8423.0	8423.0	8963.0	8963.0
PESO DEL SUELO HUMEDO	3955.3	4337.5	4028.7	4312.5	4226.2	4375.0
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	1.879	2.061	1.914	2.049	2.008	2.078
PESO SUELO HUMEDO + LATA	145.20	190.90	109.70	175.70	128.20	138.40
PESO SUELO SECO + LATA	136.10	168.50	103.30	157.30	120.00	125.80
PESO DE LA CAPSULA	27.2	27.7	29.5	27.3	27.8	27.0
PESO DE AGUA	9.1	22.4	6.4	18.4	8.2	12.6
PESO DEL SUELO SECO	108.90	140.80	73.80	130.00	92.20	98.80
% DE HUMEDAD	8.36	15.91	8.67	14.15	8.89	12.75
DENSIDAD SECA	1.734	1.778	1.761	1.795	1.844	1.843

PENETRACION

PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		7	200	67	15	282	94	26	395	132
0.050		19	324	108	39	529	176	63	776	259
0.075		27	406	135	56	704	235	97	1125	375
0.100	1000.00	33	467	156	66	807	269	124	1403	468
0.125		38	519	173	75	899	300	147	1639	546
0.150		41	550	183	83	981	327	169	1865	622
0.175		45	591	197	88	1033	344	183	2009	670
0.200		49	632	211	94	1094	365	200	2184	728
0.300		60	745	248	106	1218	406	249	2687	896
0.400		69	837	279	117	1331	444	275	2954	985
0.500					128	1444	481			

EXPANSION

Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	400	400	659
Lectura final	402	401.5	660
%Expansión	1.6%	1.2%	0.8%



CBR AL 100%	47%
CBR AL 95%	28%

Observaciones:

.....

.....

.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y



ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

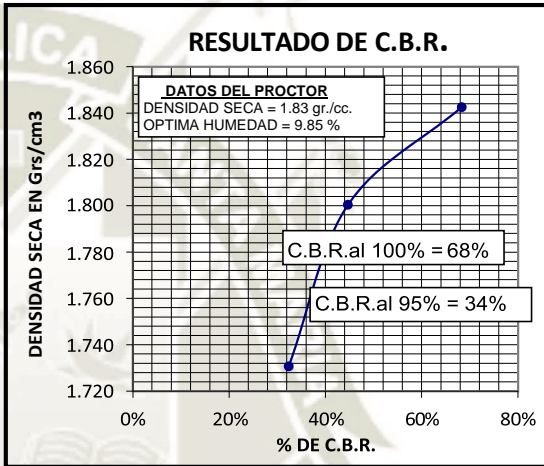
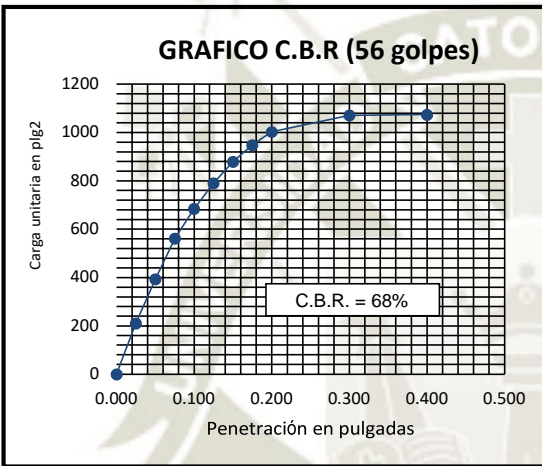
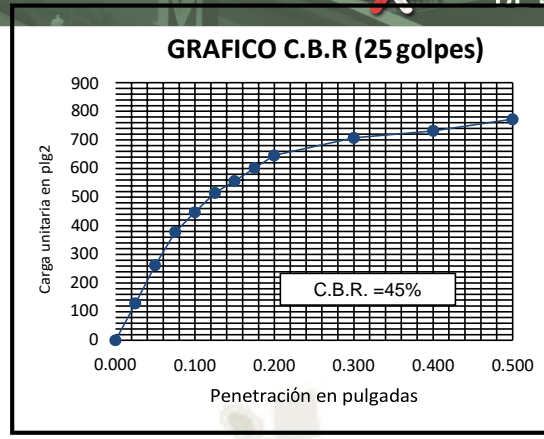
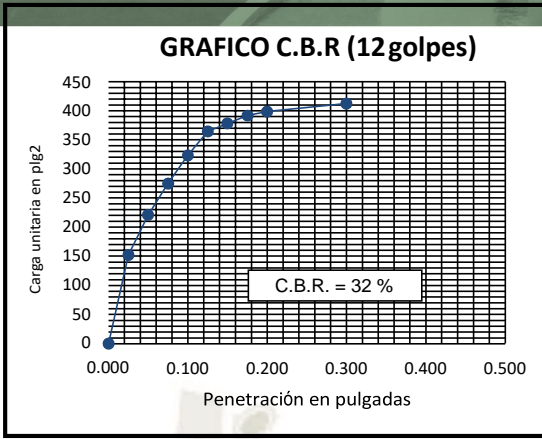
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	02
MUESTRA :	MATERIAL DE SUBBASE

COMPACTACION						
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	11512.2	11737.0	11670.0	11871.0	11974.5	12127.5
PESO DEL MOLDE	7499.0	7499.0	7526.0	7526.0	7736.5	7736.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	4013.2	4238.0	4144.0	4345.0	4238.0	4391.0
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	1.907	2.013	1.969	2.064	2.013	2.086
PESO SUELO HUMEDO + LATA	115.60	113.70	115.60	131.20	118.60	138.20
PESO SUELO SECO + LATA	107.50	102.70	108.10	118.20	110.90	125.60
PESO DE LA CAPSULA	27.8	27.4	27.8	27.5	27.8	28.8
PESO DE AGUA	8.1	11.0	7.5	13.0	7.7	12.6
PESO DEL SUELO SECO	79.70	75.30	80.30	90.70	83.10	96.80
% DE HUMEDAD	10.16	14.61	9.34	14.33	9.27	13.02
DENSIDAD SECA	1.731	1.757	1.800	1.805	1.843	1.846

PENETRACION										
PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		32	457	152	25	385	128	49	632	211
0.050		52	663	221	64	786	262	102	1177	392
0.075		68	827	276	98	1135	378	151	1680	560
0.100	1000.00	82	971	324	118	1341	447	187	2050	683
0.125		94	1094	365	138	1546	515	218	2369	790
0.150		98	1135	378	150	1670	557	244	2636	879
0.175		102	1177	392	163	1803	601	264	2841	947
0.200		104	1197	399	176	1937	646	280	3006	1002
0.300		108	1238	413	194	2122	707	300	3211	1070
0.400					201	2194	731	301	3222	1074
0.500					213	2317	772			

EXPANSION			
Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	450	600	559
Lectura final	450	600	559
%Expansión	0.0%	0.0%	0.0%



CBR AL 100%	68%
-------------	-----

Observaciones:

.....

.....

.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y



ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

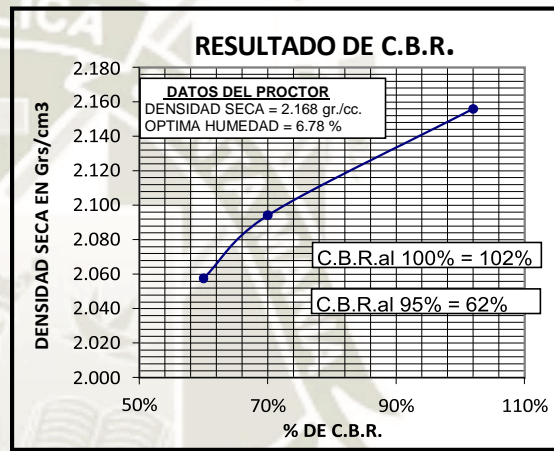
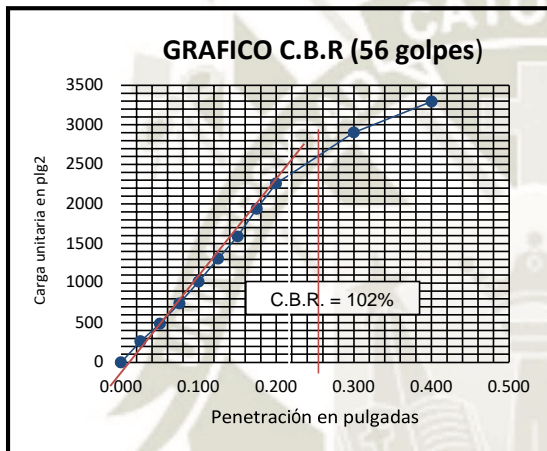
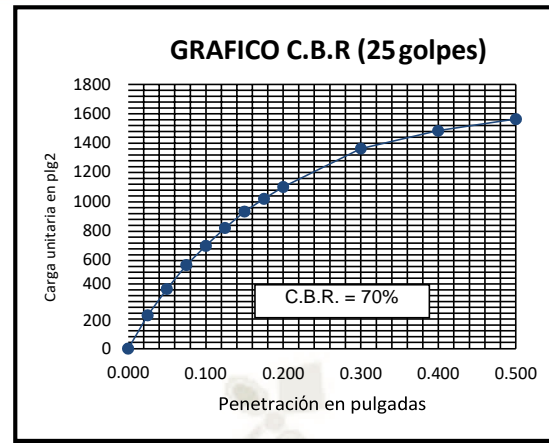
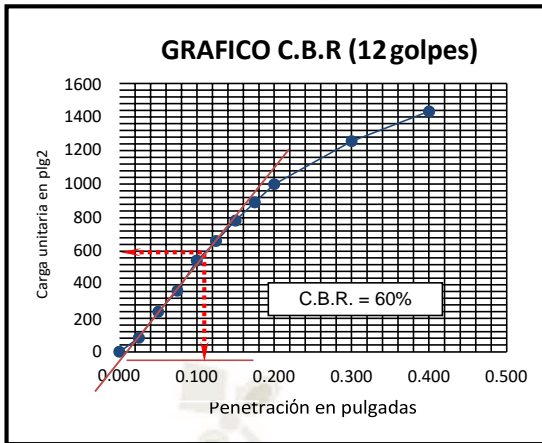
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	02
MUESTRA :	MATERIAL DE BASE

COMPACTACION						
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	11565.2	11589.8	13027.0	11852.2	13141.5	13315.0
PESO DEL MOLDE	6955.5	6955.5	8331.0	8331.0	8308.5	8308.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	4609.7	4634.3	4696.0	3521.2	4833.0	5006.5
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	2.190	2.202	2.231	1.673	2.296	2.378
PESO SUELO HUMEDO + LATA	141.80	198.90	141.80	195.90	178.50	190.30
PESO SUELO SECO + LATA	134.90	186.00	134.80	183.30	169.30	177.30
PESO DE LA CAPSULA	27.5	27.5	27.5	28.8	27.5	29.2
PESO DE AGUA	6.9	12.9	7.0	12.6	9.2	13.0
PESO DEL SUELO SECO	107.40	158.50	107.30	154.50	141.80	148.10
% DE HUMEDAD	6.42	8.14	6.52	8.16	6.49	8.78
DENSIDAD SECA	2.058	2.036	2.094	1.547	2.156	2.186

PENETRACION										
PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		12	252	84	54	683	228	65	796	265
0.050		57	714	238	106	1218	406	130	1464	488
0.075		94	1094	365	154	1711	570	205	2235	745
0.100	1000.00	146	1629	543	192	2101	700	285	3057	1019
0.125		180	1978	659	228	2471	824	370	3931	1310
0.150		216	2348	783	260	2800	933	452	4774	1591
0.175		248	2677	892	286	3068	1023	554	5822	1941
0.200		279	2996	999	309	3304	1101	647	6778	2259
0.300		354	3766	1255	385	4085	1362	836	8720	2907
0.400		406	4301	1434	421	4455	1485	950	9892	3297
0.500					444	4691	1564			

EXPANSION			
Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	400	500	500
Lectura final	400	500	500
%Expansión	0.0%	0.0%	0.0%



CBR AL 100 %	102%
---------------------	-------------

Observaciones:

.....

.....

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y**

ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 03
MUESTRA : MATERIAL DE SUBRASANTE

COMPACTACION

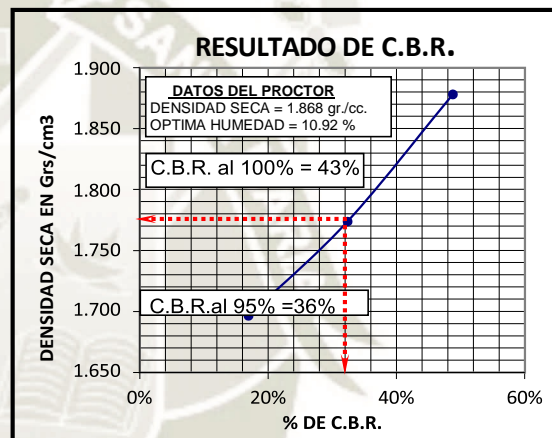
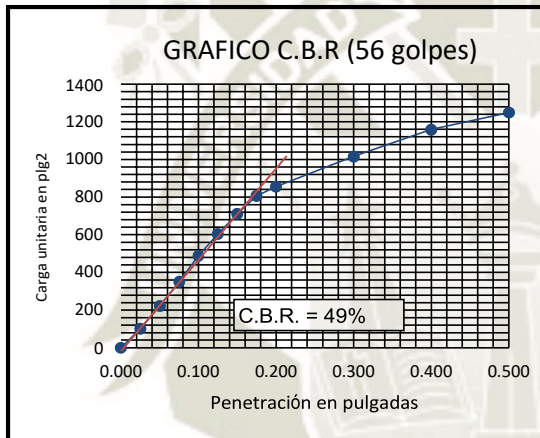
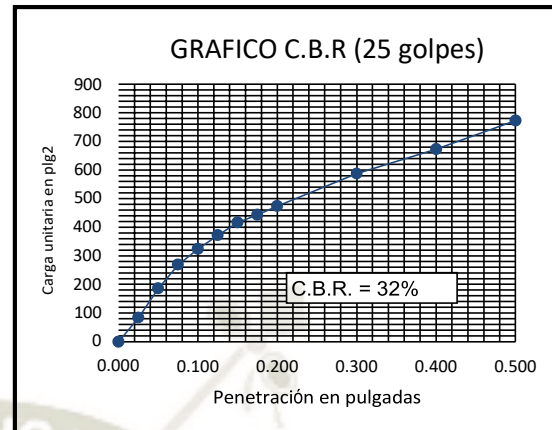
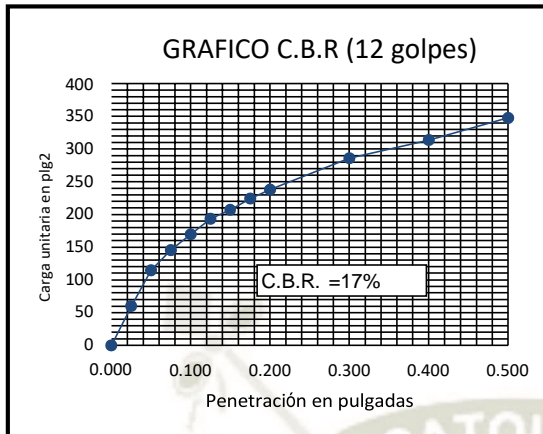
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	12342.5	12614.0	12481.0	12716.0	12856.7	13025.3
PESO DEL MOLDE	8386.0	8386.0	8382.0	8382.0	8467.5	8467.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	3956.5	4228.0	4099.0	4334.0	4389.2	4557.8
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	1.880	2.009	1.947	2.059	2.085	2.165
PESO SUELO HUMEDO + LATA	106.20	187.40	128.60	130.70	164.50	211.10
PESO SUELO SECO + LATA	98.65	165.10	119.60	117.80	150.90	187.40
PESO DE LA CAPSULA	28.8	27.5	27.6	27.6	27.5	27.4
PESO DE AGUA	7.6	22.3	9.0	12.9	13.6	23.7
PESO DEL SUELO SECO	69.85	137.60	92.00	90.20	123.40	160.00
% DE HUMEDAD	10.81	16.21	9.78	14.30	11.02	14.81
DENSIDAD SECA	1.696	1.728	1.774	1.801	1.878	1.886

PENETRACION

PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		5	180	60	12	252	84	17	303	101
0.050		21	344	115	42	560	187	52	663	221
0.075		30	437	146	66	807	269	90	1053	351
0.100	1000.00	37	508	169	82	971	324	130	1464	488
0.125		44	580	193	96	1115	372	164	1814	605
0.150		48	622	207	109	1248	416	195	2132	711
0.175		53	673	224	117	1331	444	223	2420	807
0.200		57	714	238	126	1423	474	237	2564	855
0.300		71	858	286	159	1762	587	284	3047	1016
0.400		79	940	313	184	2019	673	326	3479	1160
0.500		89	1043	348	213	2317	772.42538	352	3746	1249

EXPANSION

Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	400	400	659
Lectura final	402	401.5	660
%Expansión	1.6%	1.2%	0.8%



CBR AL 100%	43%
CBR AL 95%	36%

Observaciones:

.....

.....

.....



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y



ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 03
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

COMPACTACION

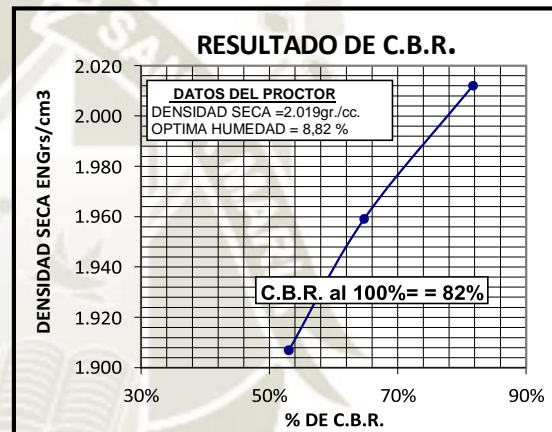
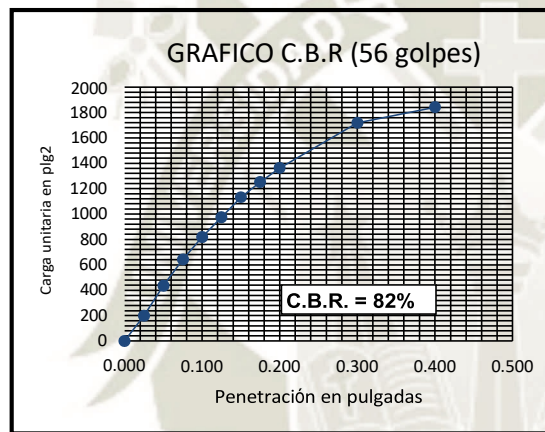
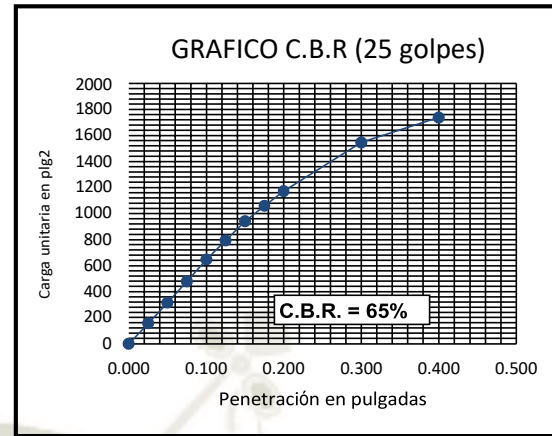
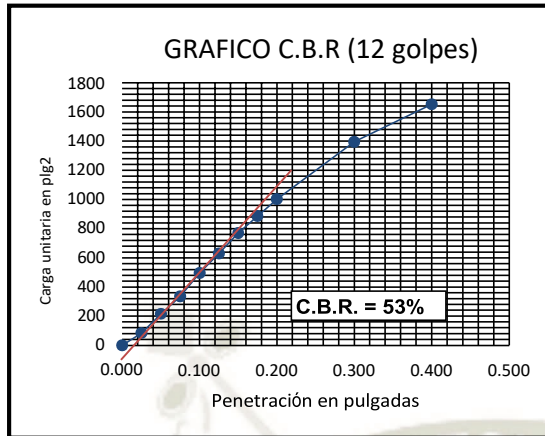
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	11891.2	12023.0	12023.0	12159.0	12378.5	12449.0
PESO DEL MOLDE	7544.5	7544.5	7533.0	7533.0	7741.0	7741.0
PESO DEL SUELO HUMEDO	4346.7	4478.5	4490.0	4626.0	4637.5	4708.0
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2133	2133
DENSIDAD HUMEDA	2.065	2.128	2.133	2.198	2.174	2.207
PESO SUELO HUMEDO + LATA	190.40	201.60	184.70	198.60	328.20	193.30
PESO SUELO SECO + LATA	177.90	186.00	171.90	184.30	312.70	180.00
PESO DE LA CAPSULA	27.0	27.5	27.7	28.8	120.3	29.2
PESO DE AGUA	12.5	15.6	12.8	14.3	15.5	13.3
PESO DEL SUELO SECO	150.90	158.50	144.20	155.50	192.40	150.80
% DE HUMEDAD	8.28	9.84	8.88	9.20	8.06	8.82
DENSIDAD SECA	1.907	1.937	1.959	2.013	2.012	2.028

PENETRACION

PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		12	252	84	33	467	156	45	591	197
0.050		50	642	214	80	950	317	115	1310	437
0.075		85	1002	334	128	1439	480	175	1927	642
0.100	1000.00	132	1485	495	177	1942	647	226	2451	817
0.125		171	1886	629	219	2379	793	272	2924	975
0.150		212	2307	769	263	2826	942	318	3396	1132
0.175		246	2656	885	297	3181	1060	353	3756	1252
0.200		280	3006	1002	330	3520	1173	385	4085	1362
0.300		395	4188	1396	440	4645	1548	489	5154	1718
0.400		470	4959	1653	495	5215	1738	525	5524	1841
0.500										

EXPANSION

Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	500	359	700
Lectura final	501	360	701
%Expansión	1%	1%	1%



CBR AL 100%	82%
-------------	-----

Observaciones:

.....

.....

.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA
CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y**

ENSAYO DE CBR

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.140 ASTM D 1557

TESIS : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

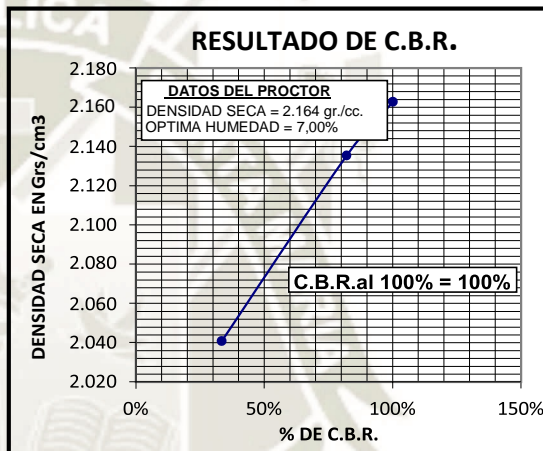
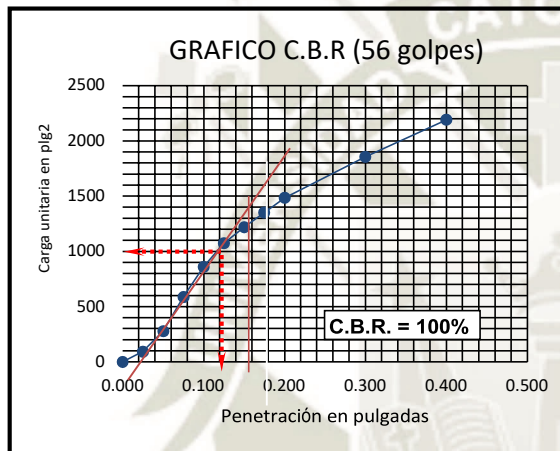
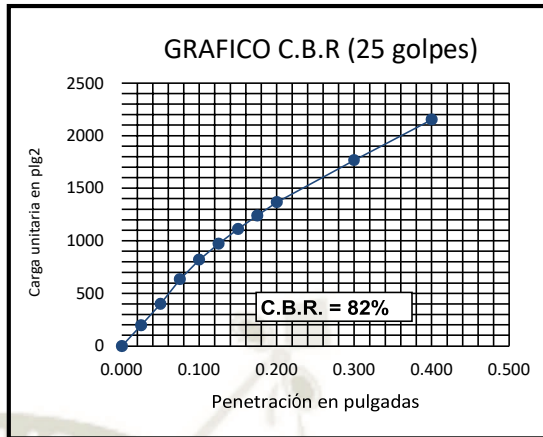
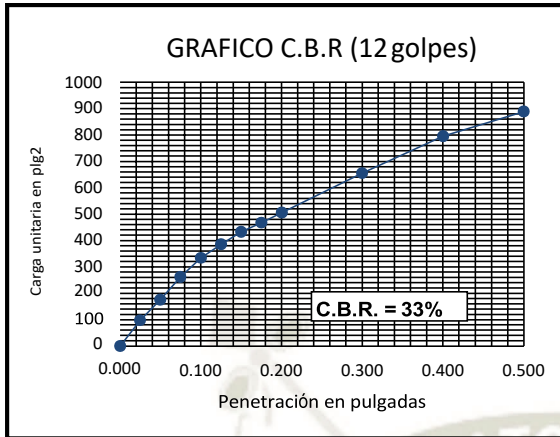
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA :	03
MUESTRA :	MATERIAL DE BASE

COMPACTACION						
NUMERO DE GOLPES	12		25		56	
	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE LA MUESTRA						
PESO SUELO + MOLDE	12109.5	12283.5	12335.5	12449.0	12600.6	12689.3
PESO DEL MOLDE	7507.0	7507.0	7533.0	7533.0	7741.5	7741.5
PESO DEL SUELO HUMEDO	4602.5	4776.5	4802.5	4916.0	4859.1	4947.8
VOLUMEN DEL MOLDE	2105	2105	2105	2105	2105	2105
DENSIDAD HUMEDA	2.187	2.269	2.281	2.335	2.308	2.350
PESO SUELO HUMEDO + LATA	118.30	198.90	126.50	195.90	120.30	190.30
PESO SUELO SECO + LATA	112.30	186.00	120.30	184.30	114.50	180.00
PESO DE LA CAPSULA	28.3	27.5	29.6	28.8	28.3	29.2
PESO DE AGUA	6.0	12.9	6.2	11.6	5.8	10.3
PESO DEL SUELO SECO	84.00	158.50	90.70	155.50	86.20	150.80
% DE HUMEDAD	7.14	8.14	6.84	7.46	6.73	6.83
DENSIDAD SECA	2.041	2.098	2.135	2.173	2.163	2.200

PENETRACION										
PENET.	CARGA STD. PSI	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección		Lectura	Corrección	
			Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025		16	293	98	45	591	197	15	282	94
0.050		39	529	176	105	1207	402	69	837	279
0.075		64	786	262	173	1906	635	159	1762	587
0.100	1000.00	85	1002	334	227	2461	820	239	2584	861
0.125		100	1156	385	272	2924	975	301	3222	1074
0.150		114	1300	433	313	3345	1115	343	3653	1218
0.175		124	1403	468	350	3725	1242	382	4054	1351
0.200		135	1516	505	387	4106	1369	421	4455	1485
0.300		179	1968	656	503	5298	1766	530	5575	1858
0.400		220	2389	796	616	6459	2153	627	6572	2191
0.500		247	2667	889						

EXPANSION			
Numero de golpes	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial	500	359	700
Lectura final	501	360	701
%Expansión	1%	1%	1%



CBR AL 100%	100%
-------------	------

Observaciones:

.....

.....

.....





ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL CIP 59876
EXPERTO TÉCNICO - INACAL

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORÍA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Calle Palomar 107, Lote B - 3B - Cercado Telef: 214163 / RPM : *414965 / RPC : 95781674 / laboratorio@laboratorio.com

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

CÓDIGO DE INFORME

RCFE 001 / A / 01-2019

Página: 1 de 2

F. Emisión: 10/01/2019

PROYECTO: VERIFICACION DE LA METODOLOGIA MECANISTICO - EMPIRICO

UBICACIÓN: AV. TRINIDAD MORAN - CAYMA - AREQUIPA

MUESTRA: Lavado Asfáltico en caliente

ZONA: HUSO: MAC-2

F. RECEPCIÓN: 4/01/2018

SOLICITA: JOSE MIGUEL MAYHUIRE HUAMANI

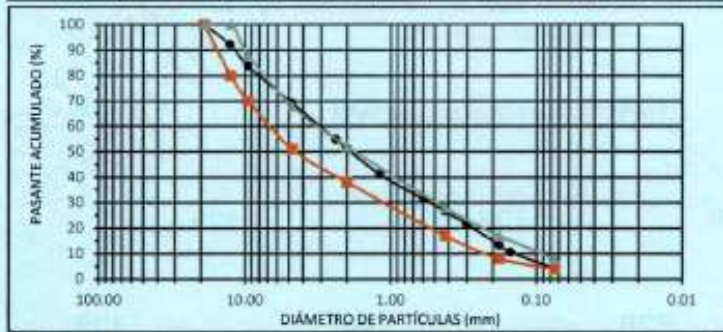
F. EJECUCIÓN: 7/01/2019

DIRECCIÓN: AREQUIPA - AREQUIPA

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	W ret. + tara (g)	W ret. (g)	% Wret	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
3 1/2"	88.90					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.10				0.0	100.0
1/2"	12.70	123.3	80.6	7.9	7.9	92.1
3/8"	9.52	128.9	86.2	8.4	16.3	83.7
4	4.760	192.0	149.3	14.6	30.8	69.2
8	2.380	190.4	147.7	14.4	45.2	54.8
10	2.000	79.4	36.7	3.6	48.8	51.2
16	1.190	146.3	103.6	10.1	58.9	41.1
30	0.590	142.9	100.2	9.8	68.7	31.3
40	0.425	90.7	48.0	4.7	73.3	26.7
50	0.300	95.1	52.4	5.1	78.5	21.5
80	0.180	127.1	84.4	8.2	86.7	13.3
100	0.150	70.7	28.0	2.7	89.4	10.6
200	0.075	107.4	64.7	6.3	95.7	4.3
-200		86.6	43.9	4.3	100.0	0.0

FRACCIONES	
GRAVA	30.8%
ARENA	64.9%
FINOS	4.3%

COEFICIENTES	
Cu	12.29
Cc	1.03



OBSERVACIONES: Muestra extraída por el cliente

[Handwritten Signature]
ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP 59876



ROBERTO CACERES FLORES

INGENIERO CIVIL CIP 59876
EXPERTO TÉCNICO - INACAL

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO - ASESORÍA Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

Calle Palomar 107 Lote B - 3B - Cercado / Telef: 214163 / RPM : 141696 / RPC : 956781874 / laboratorio@rcflaboratorio.com

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL % DE ASFALTO

Norma MTC E 502 - 2000

CÓDIGO DE INFORME

RCFE 001.1 /A/01-2019

Página: 2 de 2

F. Emisión: 10/01/2019

PROYECTO: VERIFICACION DE LA METODOLOGIA MECANISTICO - EMPIRICO

UBICACIÓN: AV. TRINIDAD MORAN - CAYMA - AREQUIPA

MUESTRA: Lavado asfáltico en caliente

ZONA: -

F. RECEPCIÓN: 4/01/2019

SOLICITA: JOSE MIGUEL MAYHUIRE HUAMANI

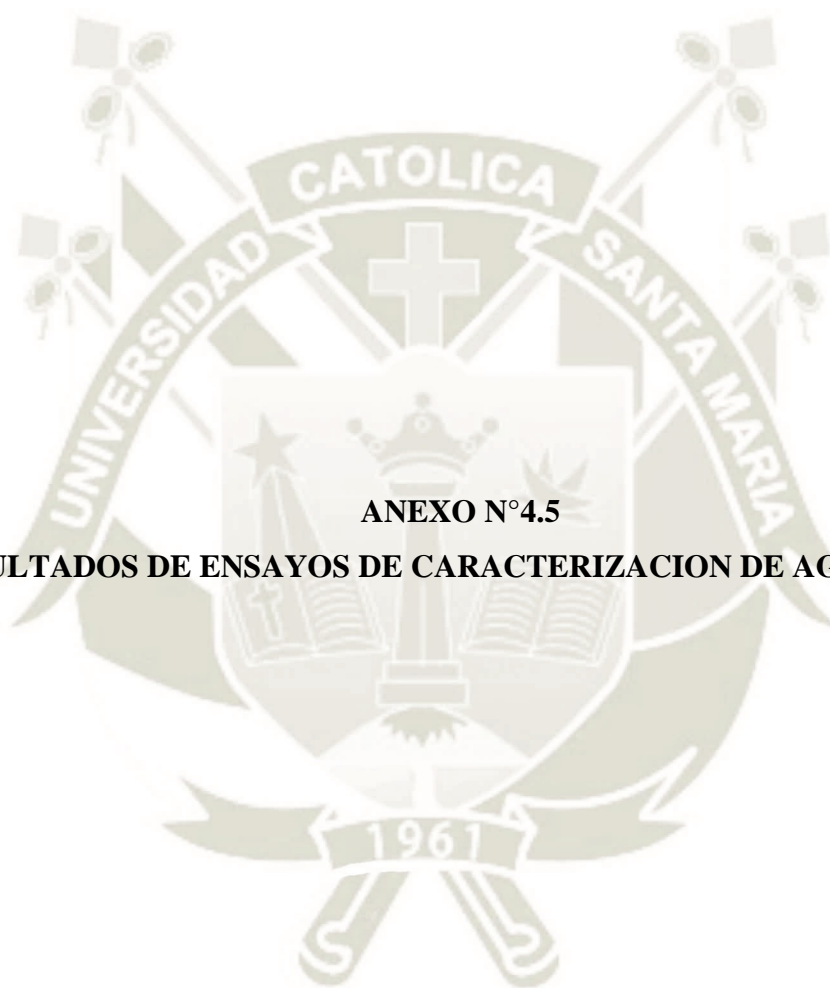
F. EJECUCIÓN: 7/01/2019

DIRECCIÓN: AREQUIPA - AREQUIPA

ITEM	DESCRIPCIÓN	1	2
1	Peso de la Tara g.	0.0	
2	Peso de Muestra + Tara g.	1110.0	
3	Peso de Muestra Centrifugada + Tara g.	1033.1	
4	Peso de Asfalto g.	76.9	
5	Peso de Muestra g.	1110.0	
6	Peso de Agregado Centrifugado g.	1033.1	
7	% de Asfalto	6.9	
PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO (EN MUESTRA)		6.9%	

OBSERVACIONES: Muestra extraída por el cliente

ROBERTO CACERES FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP 59876



ANEXO N°4.5

RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE AGREGADOS



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

NORMA ASTM C-131, NTP 400.019, MTC E 207

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA :	01-02-03
MUESTRA :	SUELO DE BASE

Tipo de gradación	A
Número de esferas de acero	12
Peso total de las esferas	4971.0
Peso inicial de agregado	5023.1

Medida del tamiz		Peso (gf)
Que pasa	Retenido sobre	
1 1/2"	1"	1252.8
1"	3/4"	1260
3/4"	1/2"	1256.9
1/2"	3/8"	1253.4

Peso final retenido en tamiz #12 4049.5
Peso perdido 973.6

Abrasión (%)	19.4
--------------	-------------



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

NORMA ASTM C-131, NTP 400.019, MTC E 207

Obra: Verificación de la metodología mecanístico-empírica usando modelos de desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Morán, distrito de Cayma provincia Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

Fecha: Diciembre del 2018

Datos de la Muestra	
CALICATA :	01-02-03
MUESTRA :	SUELO DE SUBBASE

Tipo de gradación	A
Número de esferas de acero	12
Peso total de las esferas	4971.0
Peso inicial de agregado	5001.4

Medida del tamiz		Peso (gf)
Que pasa	Retenido sobre	
1 1/2"	1"	1151.6
1"	3/4"	1310
3/4"	1/2"	1293.1
1/2"	3/8"	1246.7

Peso final retenido en tamiz #12 3867.2
Peso perdido 1134.2

Abrasión (%)	22.7
--------------	-------------



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

CARAS FRACTURADAS

ASTM D5821 / MTC E 210

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE BASE

PORCENTAJE DE 1 CARA FRACTURADA

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA	RETENIDO	Granulometría retenido	Peso de la muestra (g)	Peso partículas fracturadas (g)	% Porcentaje de caras fracturas	Promedio de caras fracturada
2"	1 1/2"	0.96	512.3	512.3	100.00	0.96
1 1/2"	1"	9.85	1637.8	1386.6	84.66	8.34
1"	3/4"	11.21	842.6	590.6	70.09	7.86
3/4"	3/8"	14.00	1814.5	1699.5	93.66	13.11
3/8"	N°4	11.02	1791.2	1251.3	69.86	7.70
TOTAL		47.04	6598.4			37.97
PORCENTAJE 1 CARA FRACTURADA						80.71

PORCENTAJE DE CON 2 CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA	RETENIDO	Granulometría retenido	Masa muestra (g)	Masa partículas fracturadas (g)	%partículas fracturadas	%individual
2"	1 1/2"	0.96	512.3	512.3	100.00	0.96
1 1/2"	1"	9.85	1637.8	1235.6	75.44	7.43
1"	3/4"	11.21	842.6	455.1	54.01	6.05
3/4"	3/8"	14.00	1814.5	989.5	54.53	7.63
3/8"	N°4	11.02	1791.2	984.7	54.97	6.06
TOTAL		47.04	6598.4			28.14
PORCENTAJE DOS CARAS FRACTURADAS						59.82

Observaciones:

.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA PROGRAMA
PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE
SUELOS Y CONCRETO**

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO

ASTM C 88 / MTC E 209

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE BASE

Solución: Sulfato de Magnesio

Malla Pasante	Malla retenida	Gradación de la muestra original	Peso Inicial	Peso final	Porcentaje	Porcentaje de pérdida pesado
Agregado Grueso						
1 1/2"	1"	25.85	1000	981.3	1.9%	0.48
1"	3/4"	16.65	500	479.1	4.2%	0.70
3/4"	1/2"	18.99	670	638.3	4.7%	0.90
1/2"	3/8"	6.85	330	301.2	8.7%	0.60
			2500	2399.9	19.51%	2.68
Agregado Fino						
3/8"	4		-	-	-	-
4	8	18.67	100	87.4	12.6%	2.35
8	16	12.42	100	89.3	10.7%	1.33
16	30	11.85	100	92.1	7.9%	0.94
30	50	14	100	93.4	6.6%	0.92
			400	362.2	0.378	5.54

Examen Cualitativo

Tamices		desintegración		rajadura		desmenuzamiento		rotura	
		n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
1 1/2"	3/4"	0	0	1	2	0	0	0	0

Observaciones:

.....
.....



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

EQUIVALENTE DE ARENA

ASTM D 2419 / MTC E 114

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"
FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE BASE

Método de agitación	manual
Material usado	Pasante de N° 4 (4.75mm)

Descripción	LECTURAS		
	1	2	3
Tiempo de saturación (min)	10	10	10
Tiempo de sedimentación	20	20	20
Altura máxima de arcilla (pulg)	4.90	4.80	4.70
Altura máxima de arcilla (cm)	12.45	12.19	11.94
Altura máxima de arena (pulg)	3.80	3.90	3.75
Altura máxima de arena (cm)	9.65	9.91	9.53
Relación (%)	77.55	81.25	79.79
Equivalente de Arena (%)	77	81	79

Equivalente de Arena (%)	79
---------------------------------	-----------



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

EQUIVALENTE DE ARENA

ASTM D 2419 / MTC E 114

OBRA : "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos desempeño (software CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran y elaboración de un plan de mantenimiento"

FECHA : DICIEMBRE DEL 2018

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 02
MUESTRA : MATERIAL DE SUBBASE

Método de agitación	manual
Material usado	Pasante de N° 4 (4.75mm)

Descripción	LECTURAS		
	1	2	3
Tiempo de saturación (min)	10	10	10
Tiempo de sedimentación	20	20	20
Altura máxima de arcilla (pulg)	5.40	5.30	5.25
Altura máxima de arcilla (cm)	13.72	13.46	13.34
Altura máxima de arena (pulg)	3.85	3.90	3.90
Altura máxima de arena (cm)	9.78	9.91	9.91
Relación (%)	71.30	73.58	74.29
Equivalente de Arena (%)	72	73	74

Equivalente de Arena (%)	73
--------------------------	----



INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	
I	0+000 km	1	
Carril	Progresiva final	Área de muestreo	
Derecho	0+039.3 km	316.4 m ² 39.3 8.05	
Inspeccionado por		Fecha	
Bach. José Mayhuire Huamani		18/01/2019	
Bach. Samuel Tipismana Martínez			

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
1	L	0.16							0.16	0.1%	4
9	L	37.75							37.75	11.9%	6
10	L	3.07	4.6						7.67	2.4%	1
10	M	2.1							2.1	0.7%	1
11	L	4.45							4.45	1.4%	3
11	M	3.84							3.84	1.2%	10
										PCI	87

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	<p align="center">Esquema</p>		
I	0+039.3 km	2			
Carril	Progresiva final	Área de muestreo			
Derecho	0+081.3 km	252 m ²			
Inspeccionado por	Fecha				
Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez	18/01/2019				

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	6	7	10	10	15	19			
1	L	1.56	2.56	2					6.12	1.93	18
6	L	0.15	0.3						0.45	0.14	5
7	L	21							21	6.64	11
10	L	1.5	4	4	3.6	1.6			14.7	4.65	6
10	M	0.8	0.9						1.7	0.54	15
15	L	0.24	0.26						0.5	0.16	2
19	L	1.5							1.5	0.47	8
										PCI	68

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo																														
I	0+081.3 km	3																														
Carril Derecho	Progresiva final 0+120.3 km	Área de muestreo 234 m ²																														
Inspeccionado por Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		Fecha 18/01/2019	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>1. Piel de cocodrilo</td> <td>6. Depresión</td> <td>11. Parcheo</td> <td>16. Desplazamiento</td> </tr> <tr> <td>2. Exudación</td> <td>7. Grieta de borde</td> <td>12. Pulimento de Agregados</td> <td>17. Grieta parabólica (slippage)</td> </tr> <tr> <td>3. Agrietamiento en Bloque</td> <td>8. Grieta de reflexión de junta</td> <td>13. Huecos</td> <td>18. Hinchamiento</td> </tr> <tr> <td>4. Abultamientos y hundimientos</td> <td>9. Desnivel carril/berma</td> <td>14. Cruce de vía férrea</td> <td>19. Desprendimiento de agregados</td> </tr> <tr> <td>5. Corrugación</td> <td>10. Grietas long y transversal</td> <td>15. Ahuellamiento</td> <td></td> </tr> </table>										1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo	16. Desplazamiento	2. Exudación	7. Grieta de borde	12. Pulimento de Agregados	17. Grieta parabólica (slippage)	3. Agrietamiento en Bloque	8. Grieta de reflexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento	4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de vía férrea	19. Desprendimiento de agregados	5. Corrugación	10. Grietas long y transversal	15. Ahuellamiento	
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo	16. Desplazamiento																													
2. Exudación	7. Grieta de borde	12. Pulimento de Agregados	17. Grieta parabólica (slippage)																													
3. Agrietamiento en Bloque	8. Grieta de reflexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento																													
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de vía férrea	19. Desprendimiento de agregados																													
5. Corrugación	10. Grietas long y transversal	15. Ahuellamiento																														
Falla	Severidad	Cantidades								Total	Densidad (%)	Valor deducido																				
1	L	3.81	0.23	1.38	2.02	2.56	3.68			13.68	4.3%	26																				
1	M	6.3								6.3	2.0%	31																				
9	L	16.5								16.5	5.2%	3																				
10	L	4.21								4.21	1.3%	0																				
10	M	1.14	9.58							10.72	3.4%	10																				
11	L	27.85	3.83							31.68	10.0%	19																				
11	M	0.84								0.84	0.3%	6																				
15	L	10.3								10.3	3.3%	20																				
											PCI	44																				

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección I	Progresiva inicial 0+120.3 km	Unidad de muestreo 4	<p align="center">Esquema</p>
	Carril Derecho	Progresiva final 0+159.3 km	
Inspeccionado por Bach. José Mayhure Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		Fecha 18/01/2019	

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
		10	11	11	11	11	19				
10	L	3.2	3.6	3	1.5				11.3	3.57	4
11	L	54							54	17.07	24
11	M	5.4							5.4	1.71	24
11	H	0.96							0.96	0.3	13
11	H	1.44							1.44	0.46	22
19	L	3.9	3.2						7.1	2.24	3
										PCI	50

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanistico-empirico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	Esquema				
I	0+159.3 km	5					
Carril	Progresiva final	Área de muestreo					
Derecho	0+198.3 km	234 m2					
Inspeccionado por		Fecha					
Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		18/01/2019					

- | | | |
|---|---|---|
| 1. Piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Agrietamiento en Bloque
4. Abultamientos y hundimientos
5. Corrugación | 6. Depresión
7. Grieta de borde
8. Grieta de reflexión de junta
9. Desnivel carril/berma
10. Grietas long y transversal | 11. Parcheo
12. Pulimento de Agregados
13. Huecos
14. Cruce de vía férrea
15. Ahuellamiento |
| 16. Desplazamiento
17. Grieta parabólica (slippage)
18. Hinchamiento
19. Desprendimiento de agregados | | |

Falla	Severidad	Cantidades								Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	10	11								
1	L	0.87	0.88	0.78						2.53	0.8%	10
10	L	4.20	3.21	4.94	1.15	1.22				14.72	4.7%	5
11	L	79.95	0.85	0.71						81.51	25.8%	28
											PCI	69

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

Sección I	Progresiva inicial 0+198.3 km	Unidad de muestreo 6	<p align="center">Esquema</p>
Carril Derecho	Progresiva final 0+237.3 km	Área de muestreo 234 m ²	
Inspeccionado por Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		Fecha 18/01/2019	

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades						Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	10	10	11	11	15			
1	L	2.65	1.87	1.86	3.68			10.06	3.18	14
10	L	1.5	2.5	1.65	0.8			6.45	2.04	2
10	M	1.6	0.9					2.5	0.79	5
11	L	70.2						70.2	22.19	27
11	M	0.9						0.9	0.28	7
15	L	0.85						0.85	0.27	4
19	L	3.6	1.6					5.2	1.64	4
19	M	0.3						0.3	0.09	6
									PCI	58

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	<p align="center">Esquema</p>				
I	0+237.3 km	7					
Carril	Progresiva final	Area de muestreo					
Derecho	0+275.3 km	228 m ²					
Inspeccionado por		Fecha					
Bach. José Mayhuire Huamani		18/01/2019					
Bach. Samuel Tipismana Martínez							

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades						Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	7	9	10	11	15			
1	L	0.54	0.2	0.35	0.28	0.19		1.56	0.5%	9
7	L	35						35	11.1%	7
9	L	12.9						12.9	4.1%	3
10	L	1.24	1.26	2.95	0.3			5.75	1.8%	1
10	M	2.24						2.24	0.7%	2
11	L	77.93	0.73	0.63				79.29	25.1%	29
11	M	1.3	0.9					2.2	0.7%	10
15	L	3.5						3.5	1.1%	10
									PCI	65

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

sección	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	<p align="center">Esquema</p>
I	0+275.3 km	8	
Carril	Progresiva final	Área de muestreo	
Derecho	0+314.3 km	234 m ²	
Inspeccionado por		Fecha	
Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		18/01/2019	

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

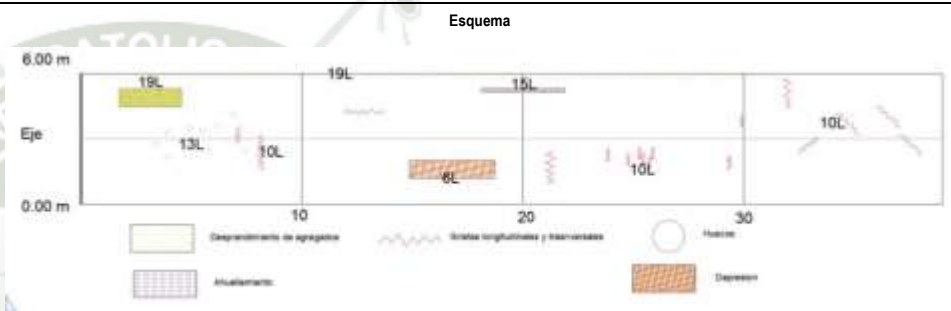
Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	3	10	10	11	15	19			
1	L	3.86	1.25	1.6	8.1				14.81	4.68	28
3	L	16							16	5.06	14
10	L	1.05	1.45	0.75	1.6	1.3			6.15	1.94	2
10	M	1.2	0.6						1.8	0.57	8
11	L	1.42	3.2						4.62	1.46	5
15	L	0.6	0.5						1.1	0.35	5
19	L	1.2	2						3.2	1.01	3
19	M	0.3							0.3	0.09	8
									PCI	60	

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

**METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA
ASTM D 6433-18**

sección I	Progresiva inicial	Unidad de muestreo	Esquema
	0+314.3 km	9	
Carril Derecho	Progresiva final	Área de muestreo	
	0+347.0 km	196.2 m ²	
Inspeccionado por		Fecha	
Bach. José Mayhuire Huamani		18/01/2019	
Bach. Samuel Tipismana Martínez			



- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades						Total	Densidad (%)	Valor deducido
		1	2	3	4	5	6			
6	L	0.8						0.8	0.25	6
10	L	3	0.85	0.6	2	1.5		7.95	2.51	4
13	L	0.01						0.01	0	3
15	L	1.4						1.4	0.44	8
19	L	1.24	3.6					4.84	1.53	3
									PCI	84

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

sección I	Progresiva inicial 0+347.0 km	Unidad de muestreo 10	<p align="center">Esquema</p>
Carril Derecho	Progresiva final 0+384.9 km	Área de muestreo 227.4 m ²	
Inspeccionado por Bach. José Mayhuire Huamani Bach. Samuel Tipismana Martínez		Fecha 18/01/2019	

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcheo | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabolica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
7	L	21.47							21.47	6.8%	5
9	L	22							22	7.0%	5
10	L	2.32	2.05	1.78	1.29	4.72			12.16	3.8%	3
10	M	4.5							4.5	1.4%	5
11	M	28.15							28.15	8.9%	32
15	L	8.8	3.32						12.12	3.8%	22
19	L	3.18							3.18	1.0%	2
										PCI	54

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)

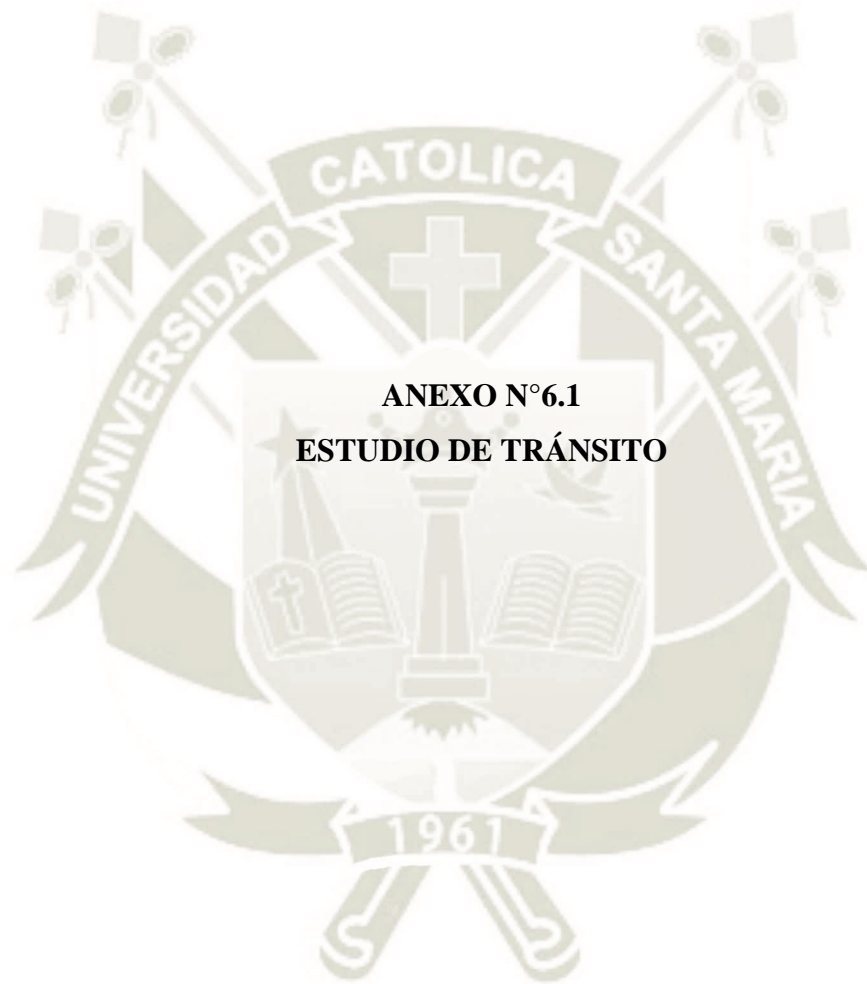
Tesis: "Verificación de la metodología mecanístico-empírico usando modelos de desempeño (CR-ME y FPS 21) aplicado a la Av. Trinidad Moran, distrito de Cayma, Arequipa y elaboración de un plan de mantenimiento

METODO ESTANDAR DE EVALUACION DEL INDICE DE LA CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433-18

sección I	Progresiva inicial 0+384.9 km	Unidad de muestreo 11	Esquema
Carril Derecho	Progresiva final 0+422.4 km	Área de muestreo 225 m2	
Inspeccionado por Bach. José Mayhuire Huamáni Bach. Samuel Tipismana Martínez		Fecha 18/01/2019	

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Piel de cocodrilo | 6. Depresión | 11. Parcho | 16. Desplazamiento |
| 2. Exudación | 7. Grieta de borde | 12. Pulimento de Agregados | 17. Grieta parabólica (slippage) |
| 3. Agrietamiento en Bloque | 8. Grieta de reflexión de junta | 13. Huecos | 18. Hinchamiento |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 9. Desnivel carril/berma | 14. Cruce de vía férrea | 19. Desprendimiento de agregados |
| 5. Corrugación | 10. Grietas long y transversal | 15. Ahuellamiento | |

Falla	Severidad	Cantidades							Total	Densidad (%)	Valor deducido
1	L	4.56							4.56	1.44	18
1	M	3.2	2.1						5.3	1.68	30
3	L	1.6							1.6	0.51	2
6	L	0.8							0.8	0.25	6
10	L	1.5	3.5	1.9	1.8				8.7	2.75	5
11	L	46.8							46.8	14.79	24
11	M	15							15	4.74	26
										PCI	42



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

FORMATO N° 1

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	LUNES
FECHA:	05/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00 - 01	99		5				1													105
01-02	58							2	1											61
02-03	45		1																	46
03-04	101		8		15		2													126
04-05	156		7	2	25	1	3	2	3	4					2					205
05-06	435		70	3	20	8	15	6	4	2				1						564
06-07	635		114	4	18	30	7		5	2		1			1					817
07-08	1056		203	19	45	69	5		6	1							1			1405
08-09	1222		135	4	27	89	1		2											1480
09-10	1044		153	26	25	78	2	2	14				1	1	2				2	1350
10-11	882		284	14	18	77		3	9					2	1				5	1295
11-12	862		165	13	33	77	1	2	8	3		1	1	1	1				6	1174
12-13	815		150	16	16	82			2				1		1				1	1084
13-14	835		157	10	26	74	2	1	8	1					2					1116
14-15	701		137	7	33	83	3	1	5	2					1					973
15-16	861		201	2	62	55	4	2	5	1				3	3				6	1205
16-17	1055		218	5	59	77	2		4	2				2					2	1426
17-18	799		228	5	36	66	3	4	6					1			1		2	1151
18-19	665		203	8	18	51	1		3	1			1						1	952
19-20	567		189	20	8	66	2	3		1	1		1	1					1	861
20-21	853		206	9	15	54	2	3	1					1	1				1	1146
21-22	863		175	11	12	38		8	4	2									6	1119
22-23	855		90	3	6															954
23 - 24	305		30		2	10														347
TOTAL	15769	0	3129	181	519	1085	56	39	90	22	1	1	6	12	16	1	2	0	33	873

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
28	27	26	24
16	16	15	14
12	8	11	15
33	45	31	17
54	48	39	64
149	146	138	131
211	210	201	195
403	300	277	425
391	383	361	345
370	398	329	253
382	299	302	312
276	301	294	303
271	313	244	256
295	290	272	259
258	251	238	226
318	311	294	282
332	322	388	384
347	289	223	292
210	184	274	283
257	176	216	213
292	249	313	293
319	269	279	251
248	238	239	229
92	90	85	80

ENCUESTADOR : _____

JEFE DE BRIGADA : _____

ING.RESPONS: _____

SUPERV.MTCC : _____

FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	MARTES
FECHA:	06/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00 - 01	85		5																	90
01-02	62						1		1											64
02-03	44		1					1								1				47
03-04	99		5		8		2									1				115
04-05	165		4	2	14		3	2	3	3										196
05-06	392		65	3	20	15	5	1	2											503
06-07	546		115	9	53	42	9	1	10	4			1	1						791
07-08	997		190	5	53	76	5	3	6	2										1337
08-09	1254		178	9	36	80		1	5	3		1				1				1568
09-10	1109		177	5	27	94	1	2	9	3			1			1			1	1430
10-11	941		204	14	35	73	3	1	22	1			1	1			1		5	1302
11-12	828		148	10	10	77	1	2	11							1			12	1100
12-13	924		193	19	31	73	0	2	9	2				4	4				11	1272
13-14	757		142	13	26															938
14-15	577		98	11	22	84	8	5	2						1			1	9	818
15-16	766		141	2	56	79	2	2	2	3			1	2	1		1		7	1065
16-17	796		143	14	38	86	1	3				1	2						6	1090
17-18	852		215	10	23	66	4	0	9		1				5				1	1186
18-19	626		194	15	16	67	2	0	8	1					2				2	933
19-20	927		235	20	9	69	1	3	4	2			1	2					1	1274
20-21	932		225	11	18	46	5	5	3						3				5	1253
21-22	837		156	4	10															1007
22-23	905		82	2	12	24	2	14		5					1				1	1048
23 - 24	277		26	1	9	3		2												318
TOTAL	15698	0	2942	179	526	1054	55	50	106	29	1	1	2	10	27	1	0	3	61	864

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
23	21	22	24
16	15	16	17
12	11	12	12
30	27	28	30
50	46	48	52
100	111	141	151
147	199	240	205
299	336	363	339
382	375	387	424
352	352	368	358
354	341	317	290
260	260	324	256
347	313	306	306
241	222	231	244
182	216	196	224
240	259	279	287
285	265	261	279
351	257	232	346
274	183	247	229
315	283	318	358
300	333	284	336
259	238	248	262
306	261	285	196
127	66	64	61

ENCUESTADOR : _____ JEFE DE BRIGADA : _____ ING.RESPONS: _____ SUPERV.MTCC : _____

**FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	MIERCOLES
FECHA:	07/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIAGRA. VEH.																				C
00 - 01	105		1				1													107
01-02	56							1	1											58
02-03	35		1																	36
03-04	89		8		15		2						1							115
04-05	124		7	2	25	2	4	2	5	5					2					178
05-06	331		46	11	13	9	18	4	8	6					2					448
06-07	437		84	31	27	48	8	3	10	1			1		1					651
07-08	725		181	21	45	89	6	1	17						1					1066
08-09	868		140	17	29	71	4	2	19	2					4					1156
08-10	827		162	18	24	102	1	1	10	4					4					1153
10-11	902		292	13	24															1231
11-12	795		153	18	20															986
12-13	969		194	20	21															1204
13-14	835		157	10	26	74		2											1	1105
14-15	824		176	3	44	75	2	1	2	1			1						7	1136
15-16	960		177	9	44	86	1	2			1			1					1	1282
16-17	854		157	13	35	84	1	3												1147
17-18	776		205	22	16	74	6	2	3	1	1		1		2				5	1114
18-19	851		224	17	12	55	2	1	7	1									2	1172
19-20	560		210	21	8	52	2	2												855
20-21	937		204	9	14	47	6	8	1										2	1228
21-22	812		213	11	8	32	2	2	4		2			2					2	1090
22-23	608		82	2	6	24														722
23 - 24	302		45		2	8														357
TOTAL	14582	0	3119	268	458	912	66	37	87	21	4	0	3	1	19	0	0	0	20	817

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
31	34	25	17
23	12	13	10
5	6	8	17
25	26	29	35
37	36	39	66
98	109	130	111
138	136	172	205
195	274	315	280
289	273	307	287
300	281	291	281
310	306	322	293
244	260	248	234
288	309	313	294
288	335	245	237
213	238	355	330
324	319	338	301
282	305	289	271
314	258	284	258
268	291	279	334
89	249	284	233
299	326	306	297
253	308	275	254
178	190	182	172
65	91	93	88

ENCUESTADOR : _____ JEFE DE BRIGADA : _____ ING.RESPONS: _____ SUPERV.MTCC : _____

FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	JUEVES
FECHA:	08/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	103		1				1														105
01-02	54														1						55
02-03	45		1				3		2				1								52
03-04	87		5		10		2	2	2	3											111
04-05	124		7	2	25	1	3	2	2	1											167
05-06	352		68	2	22	10	4	1	2												461
06-07	501		120	0	56	46	2	1	5	4			1	1							737
07-08	1014		195	0	51	84	2	3	6	2											1357
08-09	1186		202	5	25	92		1	5	3											1519
09-10	1218		205	9	21	102	1	2	9	3				1						1	1572
10-11	894		276	27	23	67	1	4	11	2	2			3						6	1316
11-12	697		164	25	23	75		2	15	2			1	2						9	1015
12-13	1174		245	25	23	65	5	4	13	1	1			1	1					15	1573
13-14	1082		95	10	8																1195
14-15	1153		93	10	8																1264
15-16	862		172	4	54																1092
16-17	990		199	0	39	78	3	2	3					2					1	3	1320
17-18	1050		249	0	42	79	4	2	4	3				1						1	1435
18-19	715		233	12	11																971
19-20	684		210	20	8																922
20-21	907		212	9	15																1143
21-22	837		181	9	10																1037
22-23	685		66	3	4																758
23-24	308		32		1	20															361
TOTAL	16722	0	3231	172	479	719	31	26	79	24	3	0	2	1	12	1	0	1	35	897	

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
21	24	25	35
11	13	13	18
10	12	12	18
22	26	26	37
34	39	39	55
92	100	147	122
139	224	226	148
329	364	312	352
386	390	365	378
392	438	375	367
307	333	355	321
238	275	245	257
373	396	413	391
322	346	313	214
382	272	275	335
221	254	257	360
320	346	331	323
390	330	365	350
200	215	299	257
165	252	255	250
232	254	221	436
218	221	206	394
160	177	153	268
73	84	85	119

ENCUESTADOR : _____

JEFE DE BRIGADA : _____

ING.RESPONS: _____

SUPERV.MTCC : _____

**FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	VIERNES
FECHA:	09/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00 - 01	98		1				1													100
01-02	45							1	1											47
02-03	65		1				1		1											68
03-04	83		3		2		2	1	1	1										93
04-05	154		5	2	14	1	3	2	3	3					1					188
05-06	378		62	5	19	11	11	3	4	2					1					496
06-07	530		108	11	39	42	7	1	8	3			1	1	1					752
07-08	948		192	11	49	75	5	2	9	1			1							1292
08-09	1133		164	9	29	83	1	1	8	2					1					1431
09-10	1050		174	15	24	94	1	2	11	3			1		2				1	1378
10-11	905		264	17	25	54	1	2	11	1	1				1				4	1287
11-12	796		158	17	22	57	1	2	9	1			1		1				7	1072
12-13	971		196	20	23	55	1	2	6	1					1	2			7	1285
13-14	877		138	11	22	19		1												1068
14-15	814		126	8	27	40	3	2	1										4	1025
15-16	862		173	4	54	55	2	2	2	1				1	2				4	1162
16-17	924		179	8	43	81	2	2	2	1				1	1				3	1247
17-18	869		224	9	29	71	4	2	6	1	1				2				2	1220
18-19	714		214	13	14	43	1		5	1					1				1	1007
19-20	685		211	20	8	47	1	2	1	1				1	1				1	979
20-21	907		212	10	16	37	3	4	1						1				2	1193
21-22	837		181	9	10	18	1	3	2	1	1				1				2	1066
22-23	763		80	3	7	6	1	4		1										865
23 - 24	312					1		1												314
TOTAL	15720	0	3066	202	476	890	53	42	92	25	3	0	3	6	19	0	0	0	38	860

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
25	26	26	23
14	15	14	4
11	10	12	35
28	36	29	0
44	44	39	61
121	123	143	109
175	217	214	146
366	332	295	299
389	387	363	292
381	418	352	227
345	316	329	297
257	288	270	257
322	355	329	279
309	318	293	148
320	262	257	186
270	283	276	333
326	334	360	227
369	310	294	247
205	200	287	315
211	214	236	318
262	252	267	412
269	245	243	309
204	208	196	257
83	87	85	59

ENCUESTADOR : _____

JEFE DE BRIGADA : _____

ING.RESPONS: _____

SUPERV.MTCC : _____

FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	SABADO
FECHA:	10/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00 - 01	142		1				1														144
01-02	90							1								1					92
02-03	85		1				1		2				1								90
03-04	135		8		2		3	2		1											151
04-05	178		25	2	13	1		1	1	1	1										223
05-06	447		41	0	9	5															502
06-07	586		76	2	20	14	3	1	2												714
07-08	836		121	7	53	42	9	1	10	4						1					1084
08-09	1034		154	4	53	76	5	3	6	2										1	1338
09-10	1115		197	0	46	82			5	1						1					1447
10-11	1029		442	0	32	77	4	1	3	1										3	1594
11-12	962		210	26	11	66	3	3	11	3	1				1	4					1304
12-13	1015		232	22	22	55		4	14	1			1	1	2					2	1371
13-14	887		166	25	8	60	2	1	8	1		1	1	3						3	1166
14-15	909		171	32	12	56	1	6	4			3	1	1				1	9		1206
15-16	1021		168	35	18	59	2	3	17	1		1	2	1						6	1334
16-17	1116		184	23	16																1339
17-18	1340		254	23	21	61	2	2	11	1											1715
18-19	902		260	13	10	67	0	1	3	1						1					1258
19-20	955		210	17	15	69	1	1	2	1											1271
20-21	841		212	10	15	71								1			1				1151
21-22	696		181	9	10	54		1												1	952
22-23	657		80	2	7	25															771
23 - 24	358		6		1	2															367
TOTAL	17346	0	3400	252	394	942	37	32	99	19	2	5	7	4	15	0	1	1	28	941	

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
37	39	33	35
20	22	25	25
21	23	24	22
37	36	37	41
56	58	54	55
121	127	127	127
182	197	162	173
227	262	306	289
312	338	369	319
348	340	352	407
402	417	379	396
400	285	314	305
335	335	353	348
277	293	283	313
219	310	314	363
299	330	378	327
300	331	380	328
427	434	417	437
274	336	312	336
344	320	312	295
252	280	317	302
226	240	257	229
187	184	189	211
92	95	89	91

ENCUESTADOR : _____

JEFE DE BRIGADA : _____

ING.RESPONS: _____

SUPERV.MTCC : _____

**FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. TRINIDAD MORAN CARRIL SUBIDA		
SENTIDO	E ←		S →
UBICACIÓN	DISTRITO DE CAYMA		

ESTACION	E1
DIA:	DOMINGO
FECHA:	11/11/2018

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00 - 01	156		1			1			1											159
01-02	95						1		2	1										99
02-03	84		1				1	1								1				88
03-04	157		9		2			1												169
04-05	185		15	2	12	1														215
05-06	239		52	3	16	26														336
06-07	491		64	1	18	28														602
07-08	723		93	6	50	35														907
08-09	862		182	4	50	48														1146
09-10	930		187	2	43	46														1208
10-11	972		230	30	4	44		2	3											1285
11-12	898		354	25	20	39	1	1	4											1342
12-13	866		223	12	22	38	2	3	4	1						1				1172
13-14	710		246	8	16	35	3	3	3	2										1026
14-15	787		224	5	30	37	2	1	1											1087
15-16	903		283	2	17	37	4	2	3						1					1252
16-17	901		206	10	30	45	2	2	1			1								1198
17-18	758		201	1	29	38														1027
18-19	759		300	4	28	42														1133
19-20	898		243	3	15	38	1	1		1					1					1201
20-21	774		135	0	14	41														964
21-22	550		63	0	6	35														654
22-23	400		47	0	2	26														475
23 - 24	249		35		1	12													1	298
TOTAL	14347	0	3394	118	425	692	17	17	22	5	0	0	1	1	2	1	0	0	1	793

Conteo total vehicular cada 15 minutos			
39	39	41	40
24	25	25	25
21	22	23	22
41	42	43	43
52	53	55	55
87	82	87	80
144	152	164	142
221	225	238	223
290	250	298	308
281	278	274	275
307	338	269	371
322	371	314	335
296	277	285	312
262	249	255	260
282	297	318	345
295	291	297	315
279	261	218	269
251	260	255	367
319	296	335	251
244	231	271	218
160	162	168	164
116	118	122	119
73	74	77	74

ENCUESTADOR : _____

JEFE DE BRIGADA : _____

ING.RESPONS: _____

SUPERV.MTCC : _____



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de aquellas actividades más relevantes del presupuesto:

a) Sello de fisuras y grietas de 3 a 6 mm, Sello de grietas de 6 a 19 mm

Este trabajo consiste en la preparación de la superficie afectada y la aplicación de material bituminoso en las fisuras y grietas existentes en el pavimento, con el objetivo de evitar su propagación y que la humedad llegue a las capas granulares del pavimento.

Transporte y almacenamiento

El transporte y el almacenamiento de todos los productos requeridos para la ejecución de los trabajos objeto de este Artículo son de responsabilidad exclusiva del Constructor, quien deberá realizarlos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y de manera que no se produzcan alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra.

Labores previas

Antes de iniciar los trabajos de sello de grietas, el Constructor deberá instalar señales de prevención y dispositivos de seguridad, así como contar con los bandereros y paleteros requeridos.

Preparación de grietas

Se procederá inicialmente a la limpieza del área de trabajo, utilizando para ello aire a presión, cepillos especiales o cualquier otro instrumento aprobado por el Supervisor.

Las grietas deberán ser aserradas formando un factor de sellado 1:1 (ancho: profundidad) para el correcto desempeño del sellante. Estas cajas aserradas, deberán ser abiertas por medios mecánicos tales como discos cortadores, ruteadoras de grietas, etc.

Tanto el espacio de la grieta como el área adyacente a la misma, en un ancho no menor de 20 cm deberán estar libres de polvo, arcilla ó cualquier otro material contaminante, previo a continuar con la siguiente operación.

Sellado de grietas

Se procede a llenar la grieta con el material aprobado cuya fluidez durante la aplicación garantice la penetración adecuada, utilizando para ello medios

mecánicos o un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma, que permita fluir homogéneamente y en línea fina el material sellante.

Una vez concluido el sellado, la superficie de rodamiento deberá presentar una textura uniforme, sin rebordes que impidan el libre escurrimiento del agua superficial sobre la carpeta.

El sellado se realizará con sellador elastomérico, el cual debe cumplir los requisitos físicos de calidad indicados en la norma ASTM D6690 y los cuales son:

Penetración de Cono (25°C ,150gr.5s,ASTM D-217/D-5329)	15 – 45 dmm.
Punto de ablandamiento (ASTM D 36)	99 °C mín
Resiliencia (ASTM D-5329)	30% min.
Contenido de Bitumen (ASTM D-4)	60% min.
Adhesión a la Tensión (ASTM D-5329)	400%
min.Compatibilidad Asfáltica (ASTM D5329)	Pasa
Temperatura segura de calentamiento	204 °C
Temperatura de aplicación recomendada	193 °C

b) Parchado superficial:

Consiste en la reparación de baches en la capa de rodadura del pavimento de la vía. El parchado superficial comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la superficie de rodadura, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas del suelo.

Procedimiento de ejecución

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad que garanticen la ejecución segura de los trabajos y el ordenamiento del tránsito sin riesgo de accidentes durante el tiempo requerido.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.

3. Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitarlas con pintura dándoles forma rectangular o cuadrada con sus lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada y deben cubrir unos 30 cm de superficie circundante en buen estado
4. Tomar fotografías de los casos más relevantes y/o representativos en la situación inicial y en las posteriores actividades de avance.
5. Elaborar el programa detallado del trabajo para el parchado superficial y distribuir el personal a emplear.
6. Ejecutar las acciones del parchado manual o mecanizado de acuerdo a los siguientes requerimientos:

Parchado superficial manual con mezclas en frío: comprende la excavación y remoción del pavimento por reemplazar, el traslado de los trozos removidos a depósitos de excedentes autorizados, el riego de liga o la imprimación, según corresponda, y la preparación de la mezcla asfáltica en frío, su transporte, colocación y compactación.

Remoción de la zona deteriorada: Posteriormente a la delimitación de la zona deteriorada, las mezclas asfálticas deben cortarse de manera que las paredes queden verticales. Para ello se debe utilizar sierras, de preferencia aún cuando también puede emplearse talados. La remoción debe alcanzar hasta una profundidad en que las mezclas no presenten signos de agrietamiento o fisuras y, en el caso de baches, se debe alcanzar, como mínimo, el punto más profundo de él. La remoción se deberá realizar poniendo especial cuidado en no dañar la base granular existente debajo de las capas asfálticas.

Relleno: las paredes y fondo de la donde se realizó la remoción del material asfáltico deben limpiarse mediante un barrido enérgico, que elimine todas las partículas sueltas y luego de preferencia mediante soplado, retirar el polvo; las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpia. En seguida la superficie y las paredes se recubrirán con el ligante que corresponda. Se debe verificar que la emulsión haya alcanzado la rotura o que la imprimación haya penetrado debidamente.

La mezcla asfáltica se debe extender y nivelar mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante. La compactación se deberá realizar con un rodillo neumático o liso,

de 3 a 5 toneladas de peso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual, si el espesor de la capa por compactar es menor de 10 cm. El desnivel máximo tolerable entra la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm.

7. Limpiar y depositar los materiales excedentes en los DME autorizados.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

c) Geomalla de refuerzo:

Descripción

Esta especificación consiste en la utilización de geomallas impregnadas con cemento o emulsión asfáltica o fibra de vidrio entre la sobrecapa de rehabilitación y la capa asfáltica existente. La función de la geomalla es actuar integralmente con los materiales de las capas que la confinan para absorber los esfuerzos a tensión en el plano inferior de la capa asfáltica. La utilización de la geomalla está determinada en los planos de construcción del proyecto o por las indicaciones del ingeniero interventor. Esta especificación considera la supervivencia de la geomalla frente a los esfuerzos mecánicos, químicos y de temperatura producidos durante la instalación.

Materiales

Se emplearán geomallas biaxiales elaboradas con correas o costillas hechas con fibras de multifilamentos de poliéster de alta tenacidad (PET) o de fibra de vidrio, impregnadas de un copolímero bituminoso; en caso que el contratista proponga una composición diferente, deberá someterla a aprobación del interventor. La geomalla deberá cumplir con las propiedades mecánicas mínimas en Valores Mínimos Por Rollo (VMPR) que se presentan en la tabla siguiente.

Propiedad	Norma	Unidad	Poliéster	Fibra de vidrio
Resistencia última mínima	ASTM D	kN/m	52.0	50
Deformación última máxima	6637	%	10.9	3
Resistencia mínima a las altas temperaturas (punto de ablandamiento)	ASTM D 276	°C	240	200
Resistencia mínima a UV (% de retención a 500 horas)	ASTM D 4355	%	98	-
Tamaño de abertura mínimo	Medido	mm	29.7 x 27.3	25.4 x 25.4
Pérdida de resistencia a 1,000 ciclos de carga a 0.1% de deformación inicial	ASTM D 7556	%	< 15	

Ligante asfáltico

El material que se utilizará para adherir la geomalla a la capa inferior y a la nueva capa de pavimentación o repavimentación, podrá ser un cemento asfáltico de penetración 60-70 ó una emulsión asfáltica con suficiente residuo asfáltico, de tal forma que satisfaga la cuantía establecida en la prueba de adherencia. Cuando se utilicen emulsiones catiónicas o aniónicas la geomalla se podrá colocar sólo después del correspondiente rompimiento de la emulsión. El tipo del cemento asfáltico especificado para el diseño de la mezcla caliente en cada localización geográfica es, generalmente, el material más aceptable.

Equipo

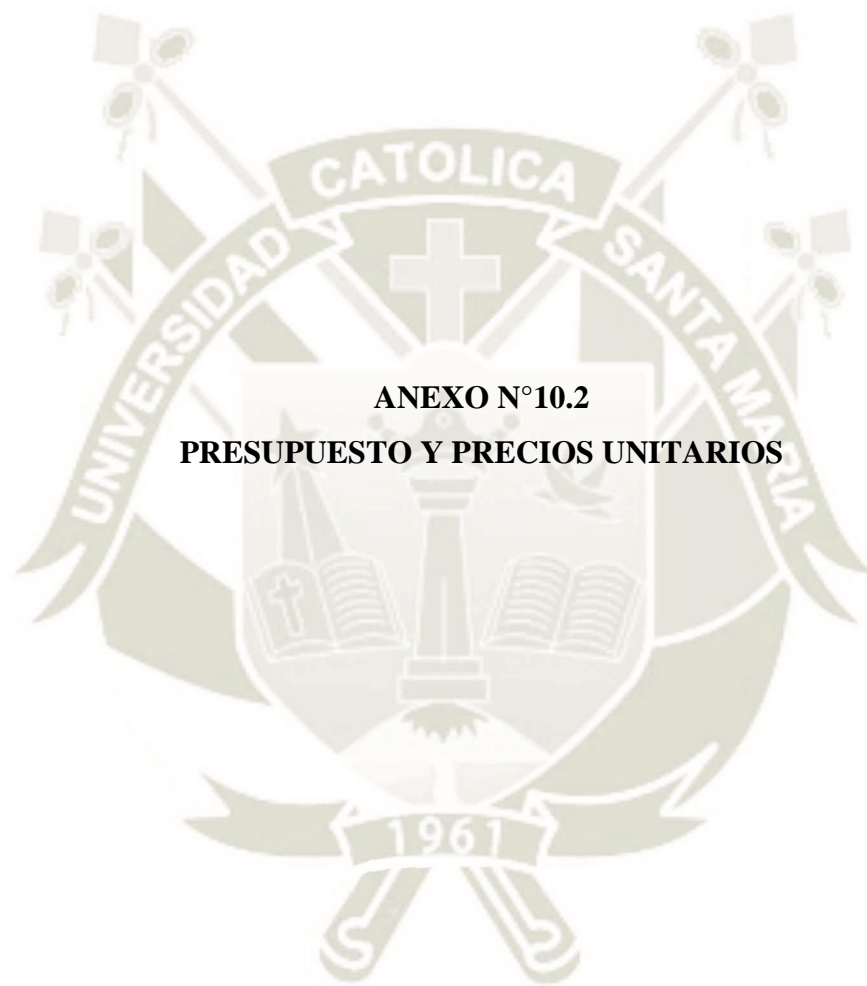
Se deberá disponer de los equipos necesarios para la colocación del ligante asfáltico en forma continua y homogénea, la instalación de la geomalla y la colocación y compactación de la capa superior de concreto asfáltico. El irrigador de asfalto debe ser capaz de rociar el asfalto a la tasa de aplicación especificada en forma uniforme. No se permiten salpicaduras, saltos ni venteados. El irrigador también debe estar equipado con un aspersor manual de boquilla sencilla y válvula de interrupción positiva. El equipo mecánico o manual de

instalación de la geomalla debe ser capaz de instalarla uniformemente.

Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: Escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie de la geomalla; tijeras o cuchillas para cortar la geomalla; cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslapos de la geomalla y grapas o puntillas aceradas para adosar la geomalla a la superficie inferior.

Puede requerirse, para ciertos trabajos, de equipos de compactación neumática para uniformizar la adherencia de la geomalla con el riego de liga, operación que debe hacerse con las llantas humedecidas. Se requiere el emparejado con compactadores neumáticos, especialmente en trabajos donde se coloquen capas delgadas o sobre superficies irregulares. El emparejamiento con compactación ayuda a la adhesión de la geomalla a las capas de pavimento adyacentes en la ausencia de peso y calor asociados con capas más gruesas de pavimento asfáltico.





ANEXO N°10.2
PRESUPUESTO Y PRECIOS UNITARIOS

Presupuesto

Presupuesto	1101005	"MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD MORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"			
Subpresupuesto	001	"MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD MORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"			
Ciente	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CAYMA		Costo al	21/03/2019	
Lugar	AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA				

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				450.16
01.01	CARTEL DE OBRA	und	1.00	450.16	450.16
02	OBRAS PRELIMINARES				4,017.56
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	gb	1.00	1,500.00	1,500.00
02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	2,678.25	0.94	2,517.56
03	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE				5,237.73
03.01	SELLO DE GRIETAS DE 3 A 6 mm	m	228.82	6.48	1,482.75
03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm	m	41.56	11.48	477.11
03.03	PARCHADO DE BACHES CON MAF	m2	77.29	42.41	3,277.87
04	TRATAMIENTO CON GEOMALLAS				37,308.03
04.01	LIMPIEZA DE SUPERFICIE A TRATAR	m2	2,678.25	2.18	5,838.59
04.02	TRATAMIENTO GEOMALLAS	m2	2,678.25	11.75	31,469.44
05	REFUERZO ASFALTICO MAC E=1.5"				62,831.75
05.01	RIEGO DE LIGA	m2	2,678.25	1.87	5,008.33
05.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 1.5"	m2	2,678.25	21.59	57,823.42
	COSTO DIRECTO				109,845.23
	GASTOS GENERALES (7%)				7,689.17
	UTILIDAD (8%)				8,787.62
	SUBTOTAL				126,322.02
	IGV (18%)				22,737.96
	TOTAL PRESUPUESTO				149,059.98

SON : CIENTO CUARENTINUEVE MIL CINCUENTINUEVE Y 98/100 NUEVOS SOLES

015

Página : 1

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1101005 "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD NORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"				Fecha presupuesto	21/03/2015
Subpresupuesto	001 "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD NORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"					
Partida	01.01	CARTEL DE OBRA				
Rendimiento:	und/DIA	0.5000	EQ. 0.5000	Costo unitario directo por : und	450.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0267140012	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSP.	und.		1.0000	450.16	450.16
						450.16
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS				
Rendimiento:	glb/DIA	1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb	1,500.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101020002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS. MOVILL	glb		1.0000	1,500.00	1,500.00
						1,500.00
Partida	02.02	TRAZO Y REPLANTEO				
Rendimiento:	m2/DIA	2,500.0000	EQ. 2,500.0000	Costo unitario directo por : m2	0.94	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
01010300000005	OPERARIO TOPOGRAFICO	hh	1.0000	0.0032	21.18	0.07
01010300000001	AYUDANTE DE TOPOGRAFIA	dia	1.0000	0.0004	18.12	0.01
						0.08
	Materiales					
02130300010001	YESO BOLSA 28 kg	bol		0.0200	5.90	0.12
0240020001	PINTURA ESMALTE	gal		0.0200	35.29	0.71
						0.83
	Equipos					
0301000022	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	1.0000	0.0032	10.20	0.03
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.09	
						0.03
Partida	03.01	SELLO DE GRIETAS DE 3 A 6 mm				
Rendimiento:	m/DIA	2,000.0000	EQ. 2,000.0000	Costo unitario directo por : m	6.48	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0040	25.75	0.10
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0120	19.81	0.24
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0160	14.72	0.24
						0.58
	Materiales					
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1600	18.30	2.93
02221600010024	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.1600	11.15	1.78
						4.71
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.58	0.02
0301100009	SELLADOR DE FISURAS. SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0040	103.40	0.51
03011400000003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0040	75.39	0.30
03012200000005	CAMIONETA PICK UP 1 ton.	hm	1.0000	0.0040	65.16	0.26
						1.19
Partida	03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm				
Rendimiento:	m/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m	11.48	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0005	25.75	0.01
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0053	19.81	0.10
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0160	14.72	0.24
						0.35

Materiales							
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.3200		18.30	5.86
02221600010024	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.3200		11.15	3.57
							9.43
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000		0.35	0.01
0301100008	SELLADOR DE FISURAS SELLADOR DE FISURAS	hm		1.0000	0.0053	153.40	0.81
0301100009	RUTEDORA DE ASFALTO	hm		1.0000	0.0053	90.16	0.48
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 67 HP	hm		1.0000	0.0053	75.39	0.40
							1.79
Partida	03.03	PARCHADO DE BACHES CON MAF					
Rendimiento	m²/DIA	200.0000	EQ. 200.0000			Costo unitario directo por : m²	42.41
Código	Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio \$I.	Parcial \$I.
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh		0.1000	0.0040	25.75	0.10
0101010003	OPERARIO	hh		1.0000	0.0400	19.81	0.79
0101010005	PEON	hh		3.0000	0.1200	14.72	1.77
							2.66
Materiales							
02010500010004	ASFALTO DILUIDO RC-250	gal			0.2800	10.20	2.86
							2.86
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			3.0000	2.66	0.08
							0.08
Subpartidas							
010101010111	EXTENDIDO Y COMPACTADO MANUAL PARCHADO	m ²			1.0000	3.86	3.86
010104030702	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA D=25KM	m ³			0.0700	29.07	2.03
010304021102	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIJO	m ³			0.0700	373.78	26.16
010706010604	PERFILADO DE BACHES	m ²			1.0000	4.76	4.76
							36.81
Partida	04.01	LIMPIEZA DE SUPERFICIE A TRATAR					
Rendimiento	m²/DIA	40.0000	EQ. 40.0000			Costo unitario directo por : m²	2.18
Código	Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio \$I.	Parcial \$I.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh		0.1000	0.0200	19.81	0.40
0101010005	PEON	hh		0.5000	0.1000	14.72	1.47
							1.87
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			5.0000	1.87	0.09
03011400060004	COMPRESORA NEUMATICA 150 HP 380-590.PCM	hm		0.0110	0.0022	100.84	0.22
							0.31
Partida	04.02	TRATAMIENTO GEOMALLAS					
Rendimiento	m²/DIA	400.0000	EQ. 400.0000			Costo unitario directo por : m²	11.75
Código	Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio \$I.	Parcial \$I.
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh		0.5000	0.0100	25.75	0.26
0101010003	OPERARIO	hh		1.0000	0.0200	19.81	0.40
0101010004	OFICIAL	hh		1.0000	0.0200	16.33	0.33
0101010005	PEON	hh		2.0000	0.0400	14.72	0.58
							1.58
Materiales							
0210020003	GEOMALLA MAC GRID AR	m ²			1.1000	9.20	10.12
							10.12
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			3.0000	1.58	0.05
							0.05
Partida	05.01	RIEGO DE LIGA					
Rendimiento	m²/DIA	3.600.0000	EQ. 3.600.0000			Costo unitario directo por : m²	1.87
Código	Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio \$I.	Parcial \$I.
	Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh		5.0000	0.0111	14.72	0.16
							0.16
Materiales							
02010500010001	ASFALTO DILUIDO RC-250	gal			0.1500	9.80	1.47

							1.47
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000		0.16	
0301220080002	CAMION IMPRMADOR 6X2 175-210 HP 1,800 g	hm		1.0000	0.0022	110.64	0.24
							0.24
Petida	05.02	CARPIETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 1.5"					
Rendimiento	m2/CMA	2.000.0000	EQ	2.000.0000	Costo unitario directo por: m2	21.59	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Subpartidas							
010101010112	EXTENDIDO Y COMPACTADO	m2		1.0000	0.90	0.90	
010104030702	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA D=29KM	m3		0.0400	29.07	1.16	
010304021101	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3		0.0400	486.31	19.45	
							21.59

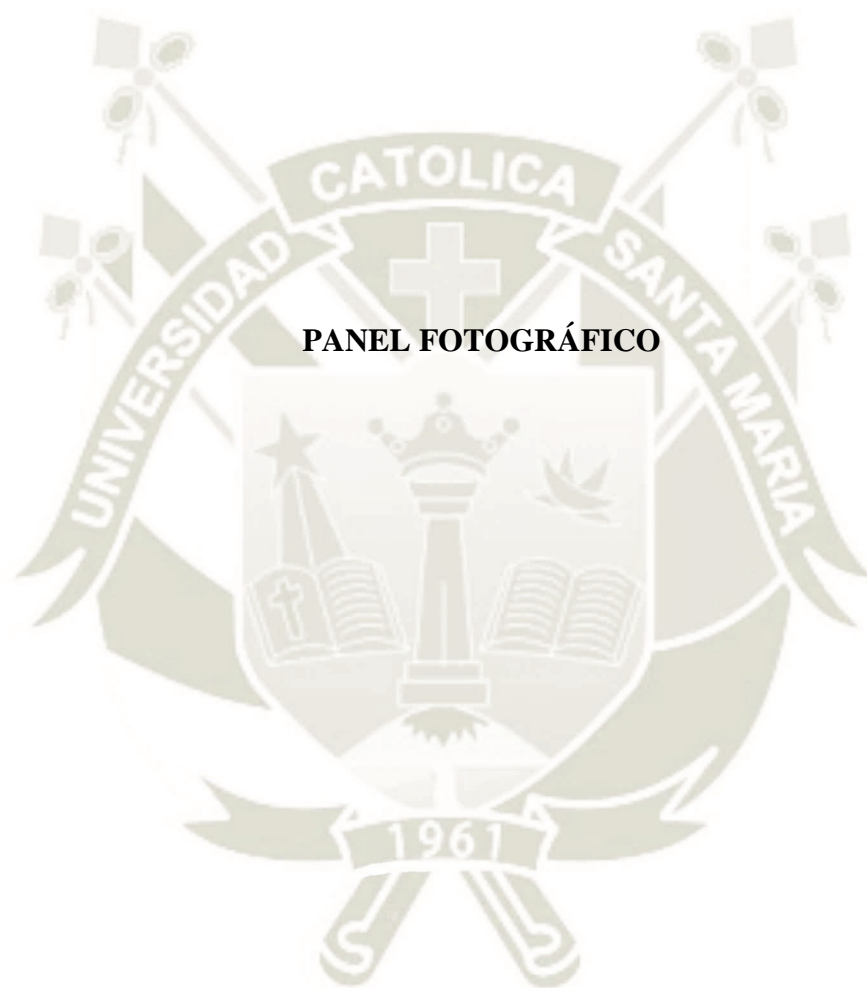
Análisis de precios unitarios de subpartidas

Prestigio	1101005	"MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD MORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"					
Subprestigio	001	"MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR AV. TRINIDAD MORAN, DISTRITO DE CAYMA-AREQUIPA"		Fecha presupuesto	21/03/2019		
Partida	(0101010115-1101005-01) EXTENDIDO Y COMPACTADO MANUAL PARCHADO						
Rendimiento	m ² /DIA	MO 120.00	EQ 120.00	Costo unitario directo por m ²		386	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/	
		Mano de Obra					
010101002	CAPATAZ	m	0.1000	0.3067	25.75	0.17	
010101004	OFICIAL	m	1.0000	0.0667	16.33	1.09	
010101005	PEON	m	2.0000	0.1333	14.72	1.86	
		3.22					
		Equipos					
030101008	HERRAMIENTAS MANUALES	turno		3.0000	3.22	0.10	
030110007	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHAS 4 HP	km	1.0000	0.0667	5.10	0.54	
		0.64					
Partida	(0101010112-1101005-01) EXTENDIDO Y COMPACTADO						
Rendimiento	m ² /DIA	MO 3,200.00	EQ 3,200.00	Costo unitario directo por m ²		098	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/	
		Mano de Obra					
010101002	CAPATAZ	m	1.0000	0.0025	25.75	0.06	
010101004	OFICIAL	m	3.0000	0.0075	16.33	0.12	
010101005	PEON	m	6.0000	0.0150	14.72	0.22	
		0.41					
		Equipos					
030101008	HERRAMIENTAS MANUALES	turno		5.0000	0.43	0.22	
030100042001	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPRENSADO 5.5 - 20 km	km	1.0000	0.0025	84.50	0.16	
030100050001	RODILLO TAMBIEN EST 6-10 km	km	1.0000	0.0025	74.80	0.19	
0301390002002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUDAS 69 HP 15-18'	km	1.0000	0.0025	84.83	0.21	
		0.58					
Partida	(010104030702-1101005-01) TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA (d=25KM)						
Rendimiento	m ³ /DIA	MO 30.00	EQ 30.00	Costo unitario directo por m ³		29.07	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/	
		Mano de Obra					
010101004	OFICIAL	m	0.0000	0.1333	16.33	2.18	
		2.18					
		Equipos					
0301220004002	CAMION VOLQUETE DE 10 m ³	km	1.0000	0.2667	100.84	26.89	
		26.89					
Partida	(010304021105-1101005-01) PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE						
Rendimiento	m ³ /DIA	MO 200.00	EQ 200.00	Costo unitario directo por m ³		486.31	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/	
		Mano de Obra					
010101002	CAPATAZ	m	1.0000	0.3400	25.75	1.03	
010101003	OPERARIO	m	3.0000	0.1200	19.81	2.38	
010101005	PEON	m	6.0000	0.2400	14.72	3.53	
		6.94					
		Materiales					
020702002	FILLER	kg		34.4000	0.58	14.15	
02010500060004	AGREGADO GRUESO PARA ASFALTO	kg		0.5200	30.00	15.60	
02010500060005	AGREGADO FINO PARA ASFALTO	kg		0.7800	24.00	18.72	
020104001	PETROLEO D-2	gal		3.0000	9.96	29.88	
02010500110002	ASFALTO PEN 85-100	gal		36.4300	9.24	336.61	
		414.97					
		Equipos					
030101006	HERRAMIENTAS MANUALES	turno		3.0000	6.94	0.21	
03011900010003	CARRODOR SOBRE LLANTAS DE 125-130 HP 3 m ³	km	1.0000	0.3400	125.00	5.00	
03013900030001	PUNTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 30.85 - 115 mm ²	km	1.0000	0.3400	1,480.00	59.20	

6441

Partida		(010304021102-1101005-01) PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO			Costo unitario directo por : m3		373.76	
Rendimiento		m3/DIA			MO:150.00 EQ:150.00			
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Costo	Parcial \$/			
Mano de Obra								
01010202	OPERARIO	m	0.0533	19.81	1.08			
01010202	CAPATAZ	m	0.0533	25.75	1.37			
01010205	PEON	m	2.0000	14.72	1.57			
Materiales								
0201020050204	AGREGADO GRIOSO PARA ASFALTO	kg	0.7000	30.00	33.80			
0201020050205	AGREGADO FINO PARA ASFALTO	kg	1.0000	24.00	24.00			
0201020013004	ASFALTO DILUIDO RC-2SE	gr	31.0000	10.20	316.20			
Equipos								
030102006	HERRAMIENTAS MANUALES	turno	3.0000	4.00	8.12			
0301020013000	CARRIADOR SOBRE LLANTAS DE 125-185 HP 3 ylt	turno	1.0000	125.00	6.96			
6.78								
Partida		(01070009004-1101005-01) PERILADO DE BACHES			Costo unitario directo por : m2		4.76	
Rendimiento		m2/DIA			MO:30.00 EQ:30.00			
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Costo	Parcial \$/			
Mano de Obra								
01010202	CAPATAZ	m	0.1000	25.75	0.68			
01010205	PEON	m	1.0000	14.72	3.93			
Equipos								
030102006	HERRAMIENTAS MANUALES	turno	3.0000	4.00	0.14			
0.14								





ENSAYOS DESTRUCTIVOS



ESTUDIO DE TRÁNSITO



ENSAYOS DE LABORATORIO

GRANULOMETRIA



LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLÁSTICO



PROCTOR MODIFICADO



SATURACION DE MUESTRAS CBR



EXPANSION DE MUESTRAS



LECTURAS CBR



GRAVEDAD ESPECIFICA DE GRUESOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE FINOS



CARAS FRACTURADAS



PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS



ABRASION LOS ANGELES



DURABILIDAD AL SULFATO DE
MAGNESIO



EQUIVALENTE DE ARENA



ENSAYO DE IRI

CALIBRACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN



TOMA DE LECTURAS



ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA HWD

EQUIPO HWD



SISTEMA CP-15 EQUIPO HWD



PRUEBA DE CARGA HWD



TOMA DE RESULTADOS



TOMA DE DATOS PCI

MEDICIONES DEL PARCHE



MEDICIÓN DE AHUELLAMIENTO



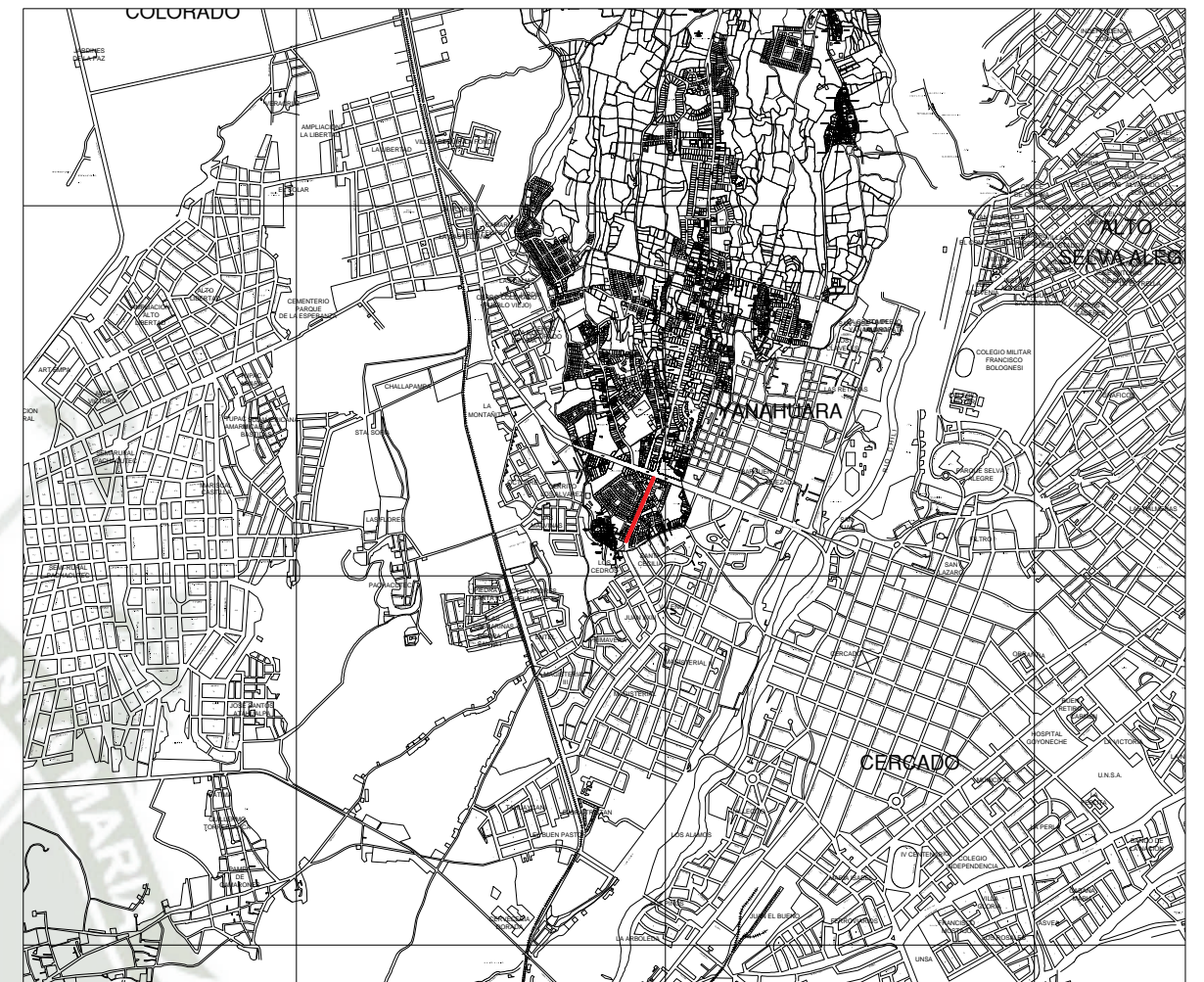
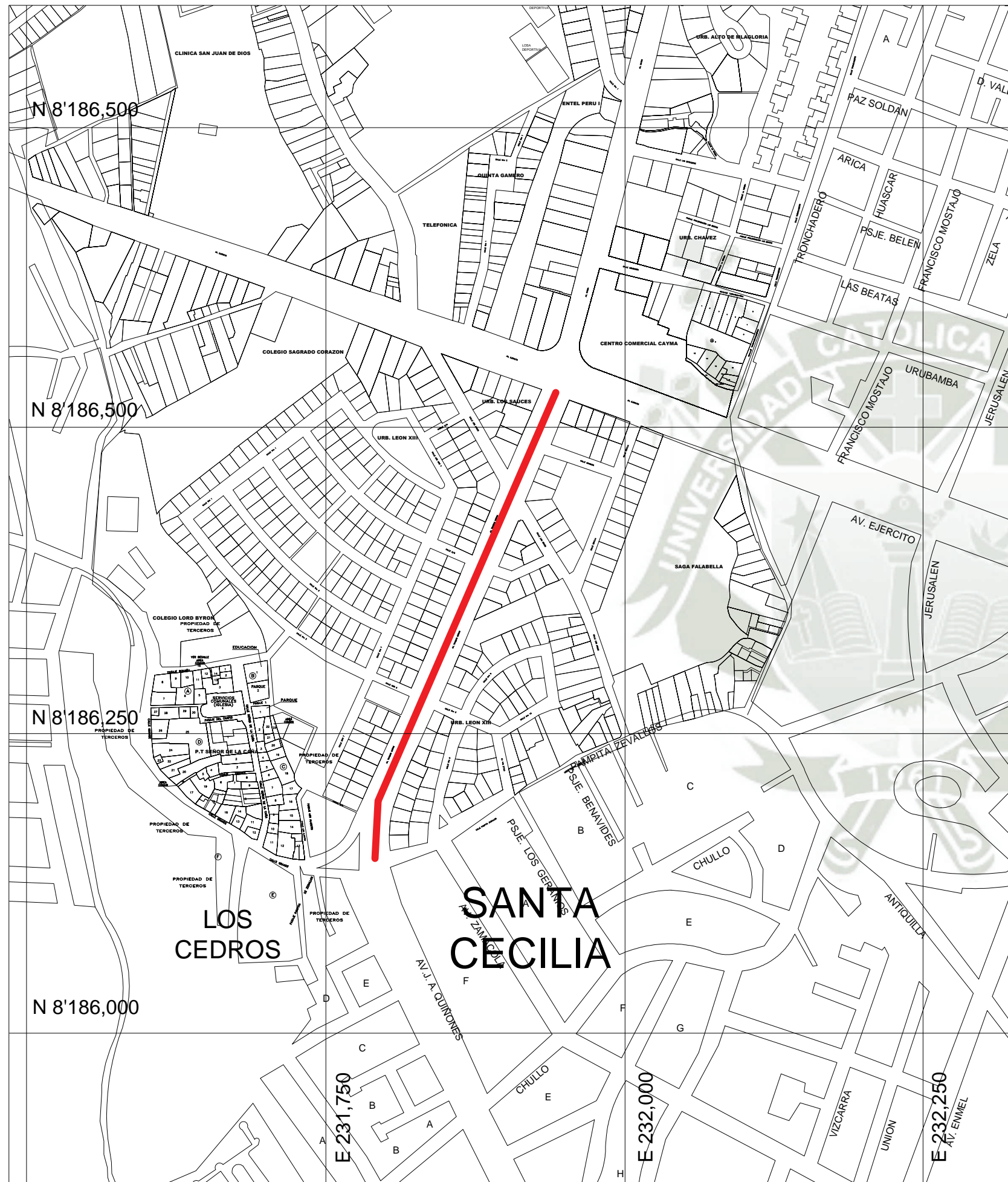
MEDICION DE AGRIETAMIENTO PIEL DE COCODRILO



MEDICIÓN DE AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL







PLANO DE LOCALIZACIÓN

esc: 1/15000

— Av. Trinidad Morán



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE
 TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Tesis: "VERIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MECANÍSTICO-EMPÍRICA USANDO MODELOS DE DESEMPEÑO (SOFTWARE CR-ME Y FPS 21) APLICADO A LA AV. TRINIDAD MORÁN, DISTRITO DE CAYMA, PROVINCIA DE AREQUIPA Y ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO "

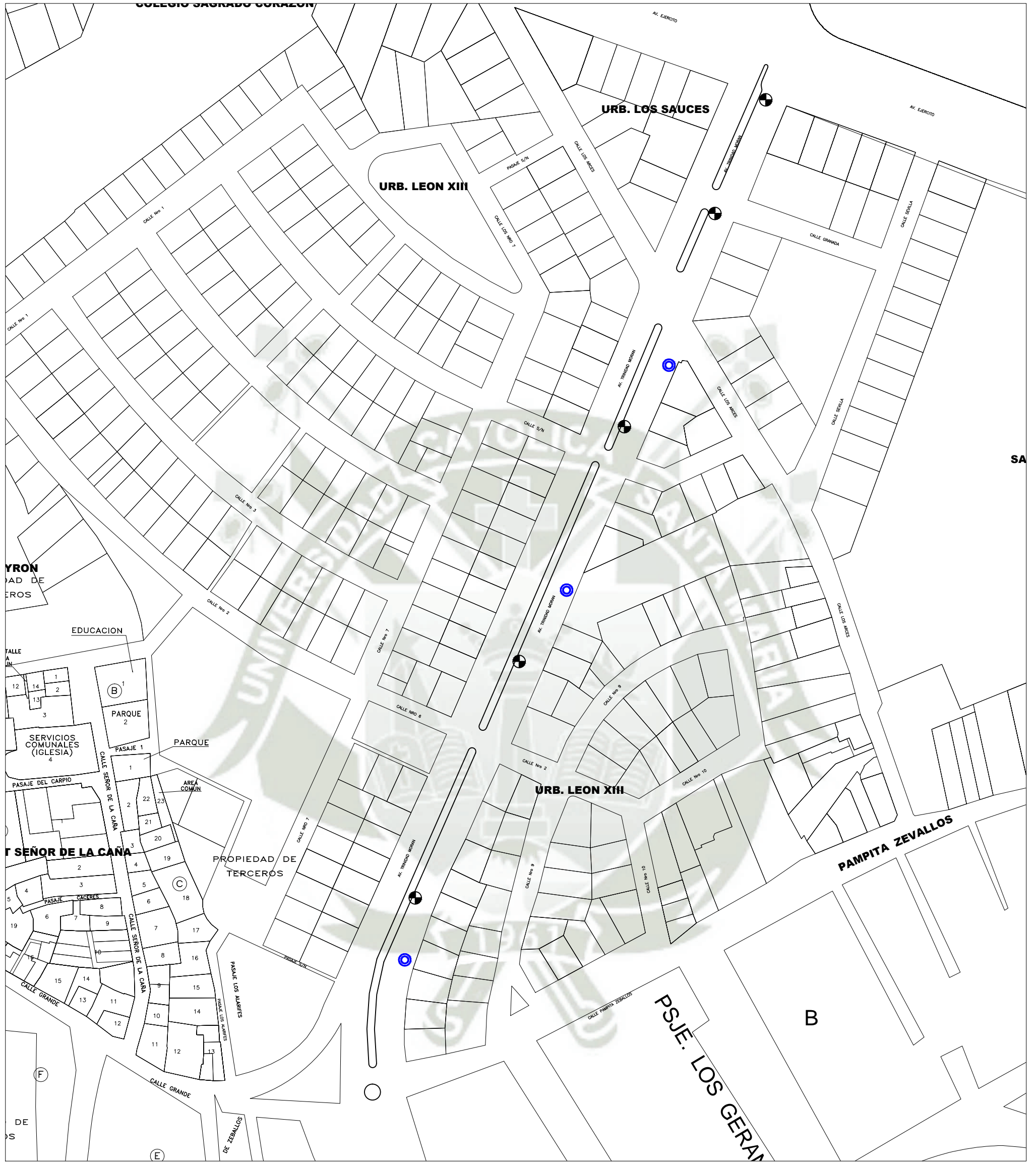
Bachiller: MAYHUIRE HUAMANI, JOSÉ MIGUEL
 TIPISMANA MARTINEZ, SAMUEL RONNY

Plano: UBICACIÓN DEL PROYECTO



Escala: 1/2000

Fecha: Noviembre 2018

PU-1



LEYENDA

-  UBICACIÓN DEL ENSAYO HWD
-  UBICACIÓN DE CALICATA



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Tesis:

"VERIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MECANÍSTICO-EMPÍRICA USANDO MODELOS DE DESEMPEÑO (SOFTWARE CR-ME Y FPS 21) APLICADO A LA AV. TRINIDAD MORÁN, DISTRITO DE CAYMA, PROVINCIA DE AREQUIPA Y ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO "

Bachiller:

MAYHUIRE HUAMANI, JOSÉ MIGUEL
TIPISMANA MARTINEZ, SAMUEL RONNY

Plano:

UBICACIÓN DEL PROYECTO

Escala:

1/1500

Fecha:

Noviembre de 2018

P-1