

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL Y DEL**  
**AMBIENTE**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA  
BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL  
MÉTODO AASHTO 2008 EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE  
JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA”**

**Tesis presentada por Bachiller:**

Harold Celedonio Meza Palomino

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Civil

**Asesor de Tesis:**

Ing. Danny Joel Ayala Castillo

**AREQUIPA – PERÚ**

**2017**

## DEDICATORIA

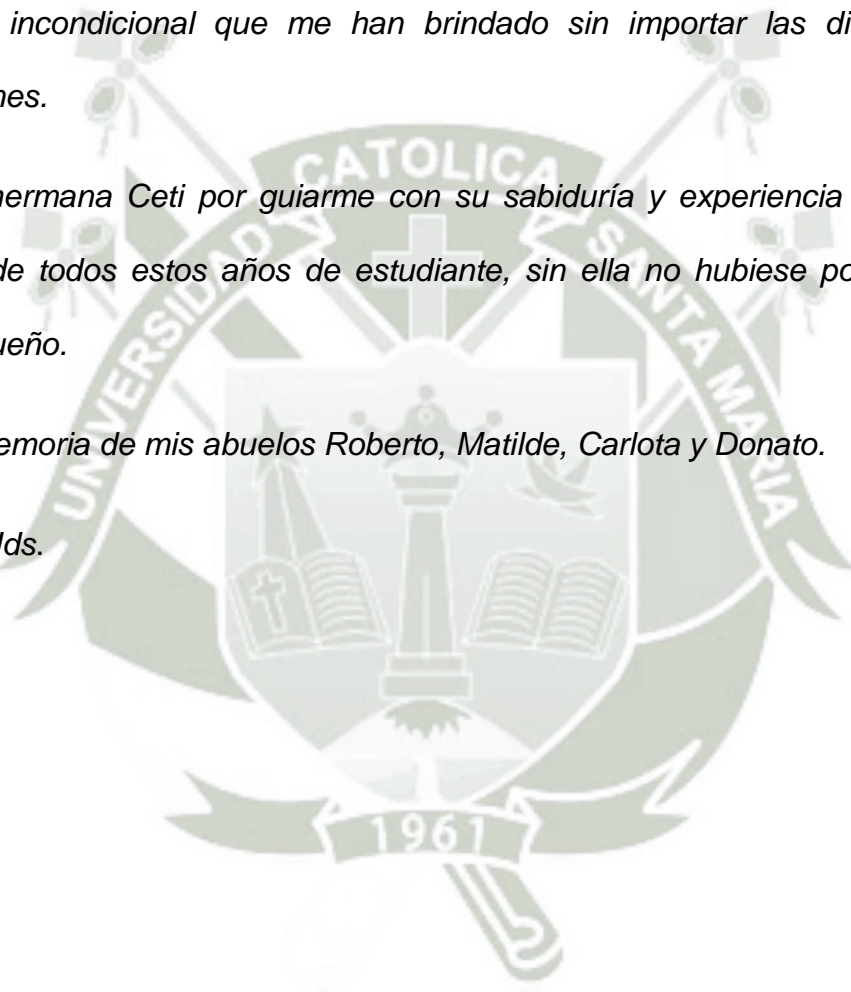
*A Dios y a la Virgencita Asunta por guiarme, darme mucha fuerza y por estar siempre a mi lado.*

*Dedico la presente tesis a mis padres Celedonio y Encarnación, por ser los pilares más importantes de mi vida, por demostrarme su cariño siempre y por el apoyo incondicional que me han brindado sin importar las diferencias de opiniones.*

*A mi hermana Ceti por guiarme con su sabiduría y experiencia de vida a lo largo de todos estos años de estudiante, sin ella no hubiese podido realizar este sueño.*

*A la memoria de mis abuelos Roberto, Matilde, Carlota y Donato.*

*Para Uds.*



## AGRADECIMIENTOS

- Mg. Ing. Danny Joel Ayala Castillo, Docente de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente de la UCSM, asesor de tesis.
- Ing. Sergio Hernán Cobarrubia Valencia, gran amigo y apoyo fundamental
- Ing. Marina Vanessa Gonzales Gonzales, por brindarme su apoyo.
- Tec. Bernardo Estrada de la Cruz, Técnico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, por su apoyo en el conocimiento y experiencia.
- Lic. Katia Lucía Gomez Velásquez, por confiar en mí y por estar siempre a mi lado, a pesar de lo duro que fue hacer este trabajo de tesis.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Universidad Católica Santa María.
- Laboratorio de suelos, rocas, concretos y pavimentos TECNICALAB SRL.
- A mis hermanas Ingrid e Iskra, por todos los consejos, el apoyo y la ayuda que siempre me dan.

## RESUMEN

Este proyecto de tesis desarrolla la evaluación deflectométrica con la viga Benkelman y diseño de estructuras de pavimentos por el método AASHTO 2008 en la Avenida Hartley del distrito de José Luis Bustamante y Rivero en Arequipa. El proceso comienza con un marco teórico, en la cual se describirá la evaluación de pavimentos y la implementación del método mecanístico-empírico AASHTO 2008.

Luego se realizará el muestreo y análisis de la estructura del pavimento, como también la recolección de datos de campo y dos tipos de evaluaciones: la superficial, en el cual se hallará la condición del pavimento PCI, y la condición estructural con la viga Benkelman mediante mediciones deflectométricas. Se realizará también el estudio de tránsito como capítulo y obtener el ESAL como parámetro para la evaluación del pavimento.

Así, se procederá a la metodología de diseño con el uso de los Métodos CONREVIAl y Modelo de Hogg, y también con los datos del muestreo de la estructura existente, se evaluará el pavimento con la metodología de la guía mecanístico-empírico AASHTO 2008 para predecir el desempeño del pavimento por fatiga y deformación permanente.

Finalmente en el presente proyecto se expone una metodología que permite realizar una propuesta de intervención con respecto a la rehabilitación del pavimento, considerando la deflexión característica y la deflexión admisible así como la determinación de los espesores de refuerzo, a partir de los parámetros calculados.

**Palabras Claves:** Pavimento, viga Benkelman, deflectométrica.

## SUMMARY

This thesis project develops the deflectometric evaluation with the Benkelman beam and design of pavement structures by the AASHTO 2008 method in Hartley Avenue from the district José Luis Bustamante and Rivero in Arequipa. The process begins with a theoretical framework, which describes the evaluation of pavements and the implementation of the AASHTO 2008 mechanical-empirical method.

Then the sampling and analysis of the pavement structure will be done, as well as the collection of field data and two types of evaluations: the superficial, in which the condition of the pavement is PCI, and the structural condition with the Benkelman beam using deflections measurements. It will also be done the study of traffic as chapter and obtain the ESAL as a parameter for the evaluation of the pavement.

Thus, it will proceed to the design methodology with the use of CONREVIAl and Hogg Model, and also with the sampling data of the existing structure, will evaluate the pavement with the methodology of the AASHTO 2008 mechanical-empirical guide to predict pavement performance by fatigue and permanent deformation.

Finally, in the present project, it is proposed a methodology that allows making a proposal for intervention and a respect to the rehabilitation of the pavement, the definition of the characteristic and the permissible deflection as well as the determination of the reinforcement efforts, from the calculated parameters.

**Keywords:** Pavement, Benkelman beam, deflectometric.

## INTRODUCCION

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red vial aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el Ingeniero Civil tradicionalmente ha recurrido a la excavación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el pavimento y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es "destruktiva".

En el Perú hablar de rehabilitación es hablar de “**parchar baches**” sin que esto signifique la solución eficaz al problema de fondo. Podemos mencionar que cada una de las etapas como construcción, mantenimiento, evaluación y rehabilitación es importante en la vida del pavimento, pero una de las etapas más importantes, no tomada en cuenta es la **evaluación de pavimentos**.

La alternativa presentada en este estudio es "no destructiva" y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva", es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

El presente proyecto se enfoca en la evaluación "no destructiva" de un pavimento e implementa la guía de diseño mecanístico - empírico de pavimento AASHTO 2008, que es actualmente la herramienta más completa que existe para el análisis y diseño de pavimentos. En este procedimiento una estructura de pavimentos es propuesta y analizada con el procedimiento descrito en la guía con la finalidad de evaluar si la estructura satisface a las solicitudes de tráfico y medio-ambientales previstas a lo largo de su vida en servicio.

## INDICE

### Contenido

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
RESUMEN .....	III
SUMMARY.....	IV
INTRODUCCION .....	V
INDICE .....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XI
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.3. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	3
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>4</b>
2.1. HISTORIA DEL PAVIMENTO .....	4
2.2. CONCEPTO DE PAVIMENTO .....	7
2.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFALTICOS.....	7
2.3.1. CONSISTENCIA.....	7
2.3.2. DURABILIDAD.....	8
2.3.3. VELOCIDAD DE CURACIÓN .....	9
2.3.4. RESISTENCIA A LA ACCIÓN DEL AGUA.....	9
2.4. CLASIFICACIÓN DEL PAVIMENTO .....	9
2.4.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	9
2.4.2. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS.....	11
2.4.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	11
2.4.4. PAVIMENTOS ARTICULADOS.....	13
2.5. ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	14
2.6. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.....	21
2.6.1. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	21
2.6.2. DEFECTOS SUPERFICIALES.....	22
2.6.3. METODOLOGIA PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).....	23



2.6.4.	RELEVAMIENTO DIRECTO.....	24
2.7.	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO .....	25
2.7.1.	LA DEFLECTOMETRÍA Y SUS USOS.....	26
2.7.2.	EQUIPOS NO DESTRUCTIVOS .....	28
2.7.3.	EVALUACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO DE VIGA BENKELMAN .....	32
2.8.	IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO MECANÍSTICO – EMPÍRICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008 .....	43
2.8.1.	IMPORTANCIA Y USO DEL MEPDG. ....	43
2.8.2.	EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO AASHTO. ....	44
2.8.3.	VISIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS DEL DISEÑO MECANICISTA-EMPÍRICO.....	47
2.8.4.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO MECANICISTA-EMPÍRICO .....	49
	<b>CAPITULO III: MUESTREO Y ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA .....</b>	<b>77</b>
3.1.	DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA LA EVALUACION.....	77
3.2.	EVALUACIÓN DESTRUCTIVA DEL PAVIMENTO.....	79
3.2.1.	ESPESOR DE CAPAS .....	79
3.2.2.	CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA.....	80
3.2.3.	ENSAYO DE COMPACTACIÓN .....	81
3.2.4.	ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) .....	82
3.2.5.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO .....	83
3.2.6.	LAVADO ASFALTICO .....	84
3.2.7.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO DE LA MEZCLA ASFALTICA. ....	84
3.3.	EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA.....	85
3.3.1.	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO: MÉTODO PCI - ASTM D-6433-03.....	85
3.3.2.	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO: DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.....	87
	<b>CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRANSITO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>96</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	96
4.2.	VOLUMEN DE TRANSITO .....	96
4.3.	TRANSITO MEDIO DIARIO ANUAL .....	99
4.4.	TASA DE CRECIMIENTO .....	102
4.5.	FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE .....	105
4.6.	FACTORES DE EQUIVALENCIA .....	109

4.7.	PROYECCIONES DE TRANSITO FUTURO .....	109
4.8.	DETERMINACIÓN DE NÚMERO TOTAL DE EJES EQUIVALENTES (ESAL).....	112
<b>CAPÍTULO V: METODOLOGIA DEL DISEÑO.....</b>		<b>116</b>
5.1.	INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	116
5.2.	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	117
5.3.	EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA DEL PAVIMENTO CON LA VIGA BENKELMAN .....	117
5.3.1.	MÉTODO CONREVIAL .....	118
5.3.1.1.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS MEDICIONES MEDIDAS. ....	119
5.3.1.2.	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA DEL PAVIMENTO .....	120
5.3.1.3.	DEFLEXIÓN ADMISIBLE DEL PAVIMENTO.....	120
5.3.1.4.	DETERMINACIÓN DE REFUERZO ASFALTICO CONREVIAL .....	121
5.3.2.	MÉTODO ELÁSTICO (MODELO MATEMÁTICO DE HOGG).....	122
5.3.2.1.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG.....	124
5.3.2.2.	DETERMINACIÓN DE REFUERZO ASFALTICO MODELO HOGG.....	133
5.4.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO MECANÍSTICO – EMPÍRICO AASHTO 2008. ..	135
5.4.1.	PARÁMETROS DE ANÁLISIS .....	135
5.4.2.	ANÁLISIS DE TRÁFICO.....	136
5.4.3.	ANÁLISIS DEL CLIMA.....	139
5.4.4.	ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE .....	140
5.4.5.	RESULTADOS .....	143
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>153</b>
6.1.	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO – MÉTODO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).....	153
6.2.	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO – MÉTODO DEFLECTOMÉTRICO.....	160
6.2.1.	DEFLECTOGRAMA Y PERFIL DE RADIO DE CURVATURA.....	160
6.2.2.	INTERPRETACION DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y LA DEFLEXIÓN ADMISIBLE. ....	163
6.3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA GUÍA DE DISEÑO MECANÍSTICO – EMPÍRICO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008 .....	165
6.3.1.	CONFIABILIDAD DEL DISEÑO DE PRUEBA .....	165
6.3.2.	VALORES PRONOSTICADOS DE DESEMPEÑO.....	165
6.4.	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PLANTEADA .....	168

<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>171</b>
7.1. CONCLUSIONES .....	171
7.2. RECOMENDACIONES.....	173
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>178</b>
<b>PLANOS.....</b>	<b>259</b>



## INDICE DE TABLAS

### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

Tabla N° 2.1. Factores de equivalencia de carga para diferentes configuraciones de ejes y cargas.	20
Tabla N° 2.2 Valores de deflexión característica.	42
Tabla N° 2.3 Niveles de confiabilidad para las distintas clases funcionales de Carreteras.	55
Tabla N° 2.4. Resumen de criterios de comportamiento y deterioro admisible.	57
Tabla N° 2.5. Equivalencia entre categorías FHWA y MTC.	59
Tabla N° 2.6. Modelos relacionados al índice de materiales y propiedades de resistencia para Mr.	70
Tabla N° 2.7. Datos de ingreso Creep Compliance.	72

### **CAPÍTULO III: MUESTREO Y ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA**

Tabla N° 3.1. Unidades de muestreo por progresiva	78
Tabla N° 3.2. Espesor de capas de estructura de pavimento	79
Tabla N° 3.3. Resumen de análisis granulométrico de material existente.	80
Tabla N° 3.4 Resumen de ensayo de compactación utilizando energía modificada	82
Tabla N° 3.5. Resumen de ensayo de CBR.	82
Tabla N° 3.6 Resultado de Contenido de Asfalto	84
Tabla N° 3.7. Resumen valores PCI	87
Tabla N° 3.8. Distancia al borde del pavimento según el ancho de carril.	89
Tabla N° 3.9 Calculo de Deflexiones y Radio de Curvatura.	95

### **CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRANSITO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Tabla N° 4.1 Resumen de conteo vehicular por día – Sentido de Subida	98
Tabla N° 4.2 Resumen de conteo vehicular por día – Sentido de Bajada	98
Tabla. N° 4.3 Parque automotor en circulación a nivel nacional	103
Tabla. N° 4.4 Esquema y carga por eje por tipo de vehículo.	106
Tabla. N° 4.5 EALF según tipo de eje y peso.	108
Tabla N° 4.6 Factores de equivalencia por cada vehículo considerado	109
Tabla N° 4.7. Tráfico actual por tipo de vehículo (Sentido de Subida-Carril Izquierdo)	110
Tabla N° 4.8. Proyección del TMDA en los próximos 10 años	111
Tabla. N° 4.9. Calculo de ESAL	115

## CAPÍTULO V: METODOLOGIA DEL DISEÑO

Tabla N° 5.1 Análisis estadístico de deflexiones.	119
Tabla N° 5.2 Coeficientes para el Cálculo de R5	125
Tabla N° 5.3 Coeficientes para el Cálculo de (L0)	126
Tabla N° 5.4 Coeficientes Valor Numérico (M)	127
Tabla N° 5.5 Coeficientes Valor Numérico (k)	128
Tabla N° 5.6 Coeficientes Valor Numérico (l)	128
Tabla N° 5.7 Datos para el cálculo Modelo de Hogg	130
Tabla N° 5.8 Deflexiones en estructura existente - Modelo de Hogg	132
Tabla N° 5.9 Análisis estadístico - Modelo de Hogg	132
Tabla N° 5.10 Determinación de refuerzo - Modelo de Hogg	134
Tabla N° 5.11. Porcentaje de distribución de vehículos.	137
Tabla N° 5.12. Conversión vehículos livianos a camión 3E.	138
Tabla N° 5.13. Cantidad de total de vehículos pesados.	138
Tabla N° 5.14. Resumen anual de temperatura, precipitación y velocidad de viento del 2015.	140
Tabla N° 5.15. Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis	143
Tabla N° 5.16. Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis	143
Tabla N° 5.17. Resumen de daño y confiabilidad de la estructura existente	151

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tabla N° 6.1. Resumen de resultado y clasificación correspondiente	153
Tabla N° 6.2. Resumen de Metrados por Falla y Severidad	157
Tabla N° 6.3 Propuesta de refuerzo asfáltico.	162
Tabla N° 6.4. Análisis combinado de los resultados de evaluación.	164

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

### 1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, se encuentra ubicada en la Av. Hartley la cual tiene un deterioro considerable debido a diversos factores ambientales y en parte estructurales, esta Avenida presenta fisuras transversales, longitudinales y hundimientos provocados por los factores climáticos que afectan nuestra ciudad en la época de lluvias

El flujo vehicular ha ido incrementándose año tras año, debido a la conexión de la vía con vías principales como son la Av. Pizarro, Av. Dolores y Av. Estados Unidos, esta alternativa de ruta es tomada por una gran parte de camiones, buses, y pocos semitraylers que ocupan la vía; a lo largo del tramo de la Avenida se podrá identificar sectores comerciales, recreativos como también a nivel de distrito se encuentra Centros Educativos a nivel inicial, primaria, secundaria e institutos y universidades, todo esto demanda una cantidad considerable de personas que laborarán en estos sectores y de otra parte los que adquieren servicios en estos, es por ello que la demanda automotora en esta zona específica es muy alta y los conductores que quieran acceder a estos sectores deberán tomar esta ruta y naturalmente querrán un grado mayor de confort al pasar por la vía la cual actualmente no cuenta con esta característica.

Haciendo un análisis prematuro, la Av. Hartley se encuentra muy deteriorada estructuralmente y que además según a las necesidades

explicadas anteriormente requerirá de una Evaluación superficial y deflectométrica, y posteriormente el diseño de refuerzo de la estructura existente en función al desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil.

## **1.2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar la evaluación de la condición estructural del pavimento mediante la medición deflectométrica obtenida con viga Benkelman de la Avenida Hartley.
- Análisis de los principios, conceptualización, parámetros, resultados y su aplicabilidad en nuestro medio del método mecanístico - empírico AASHTO 2008 para el pavimento flexible existente.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la condición superficial del pavimento mediante el cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) del pavimento flexible.
- Estudiar las características y aspectos generales de los pavimentos flexibles a través del estudio de suelos y tráfico.
- Realizar un análisis de las deflexiones en la estructura del pavimento mediante los modelos matemáticos CONREVIAl y Hogg del tramo en evaluación.
- Analizar el desempeño del estado actual del pavimento aplicando al guía Diseño de Pavimentos Mecanístico – Empírico AASHTO 2008.
- Elaborar alternativas de diseño de refuerzo asfáltico del pavimento mediante métodos analíticos a partir de las deflexiones determinadas con la viga Benkelman.

### 1.3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

El mejoramiento de una vía en una ciudad se alcanza mediante la intervención de estudios no destructivos debido al complejo comportamiento de los pavimentos existentes.

El pavimento flexible existente en la Avenida Hartley requiere un análisis y diseño estructural utilizando la mejor alternativa de diseño, para así asegurar el buen funcionamiento de la vía.





## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1. HISTORIA DEL PAVIMENTO

La historia del asfalto se inicio hace miles de años, siendo utilizado de su versión natural en yacimientos que se encontraban en estanques y lagos de asfalto, así como en rocas asfálticas.

El manual del Asfalto del Instituto Asfáltico (2007) <sup>1</sup> nos menciona algunos acontecimientos en forma cronológica:

- *En la Prehistoria*, se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de asfalto en el pozo La Brea, en Los Ángeles de California.
- *En 3200 a 540 A.C.*, Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y en el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
- *En 1595*, Los Europeos que exploraban el Nuevo Mundo descubrieron depósitos naturales de asfalto. Sir Walter Raleigh describió en su momento un lago de asfalto en la isla Trinidad, cerca de Venezuela, lo utilizo como impermeabilizante para sus barcos.
- *En 1802*, En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.
- *En 1838*, En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.

---

<sup>1</sup> THE ASPHALT INSTITUTE, Manual del Asfalto, 2007.

- *En 1870*, Se realiza el primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey, por el Profesor E.J. De Smedt, químico belga.
- *En 1876*, se realiza la construcción del primer pavimento de tipo *sheet asphalt* en Washington D.C., con asfalto de lago trinidad.
- *En 1907*, la producción de asfalto por refinamiento del petróleo sobrepaso el uso del asfalto natural, como consecuencia del crecimiento en la popularidad del automóvil, la demanda de mas y mejoras carreteras llevaron al surgimiento de innovaciones tanto en la producción de asfalto, como también en la mecanización del proceso de aplicación del asfalto.
- *En 1956*, El Congreso de Estados Unidos aprobó el “Interstate Highways Act” (Acta de Autopistas Inter-Estatales), asignando fondos por 51 billones de dólares a los estados para la construcción de carreteras.
- *En 1970*, la crisis de energía que se sufrió en esta década, trajo consigo la necesidad de una mayor conservación de los recursos naturales desde entonces, creciente cantidad de asfalto reciclado se ha incorporado a las mezclas utilizadas para la construcción y mantenimiento de carreteras en USA, hoy el pavimento asfáltico es el material más reciclado en USA con más de 70 millones de toneladas métricas de material de pavimento asfáltico reciclado cada año.
- *En 2002*, la EPA (Enviromental Protection Agency, USA) anuncio que las plantas de asfalto ya no forman parte de su lista de industrias

consideradas las mayores fuentes de polución y daños al medio Ambiente.

En el Perú los primeros caminos construidos con ciertas técnicas fueron los realizados por los Waris en la sierra, Mochicas y Chimús en la costa, sin embargo los incas fueron quienes integraron los caminos en un sistema vial. Que permitió la circulación de personas y animales, estos caminos comprendían también las obras de arte necesarias para atravesar ríos y quebradas y estaban dotados de tambos ubicados entre aproximadamente 15 a 35 km. Se estima que alcanzaron una longitud de 25,000 km compuestos por dos grandes caminos longitudinales norte a sur uno en la costa y el otro en la sierra y varios caminos longitudinales (este-oeste) que conectaban los valles costeros con la sierra.

La red vial del Perú en el época de la colonia no mejoró sensiblemente y se mantuvieron muchos de los caminos incas y pre incas. En los primeros años de la república la red de caminos empeoro notablemente, situación que cambio durante el “oncenio” de Leguía ya que con la llegada de los vehículos a motor la red carretera se constituyó en una prioridad, esta fue atendida a través de una ley de conscripción vial. En los años treinta, Benavides construyo la Panamericana y se restableció la comunicación de valle en valle por la costa, atravesando los desiertos, algo que se había perdido durante la colonia.

## 2.2. CONCEPTO DE PAVIMENTO

Esta palabra proviene del latín *pavimentum*, el pavimento es el suelo de una superficie artificial. Se trata de la base horizontal de una determinada construcción que sirve de apoyo a las personas, animales y cualquier objeto.

Ahora para la ingeniería un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.<sup>2</sup>

## 2.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFALTICOS

### 2.3.1. CONSISTENCIA.

Esta se considera para dos condiciones:

#### **Variación de la consistencia con la temperatura.**

La consistencia de cualquier material asfáltico cambia a medida que cambia la temperatura. El cambio de la consistencia de los diferentes materiales asfálticos puede diferir considerablemente aun para la misma magnitud de cambio de temperatura.

#### **Consistencia para una temperatura específica.**

---

<sup>2</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2002

La consistencia de un material asfáltico va a variar de sólido a líquido dependiendo de la temperatura del material. Es importante que cuando se requiera la propiedad de consistencia de un material asfáltico, también se dé su temperatura.

### 2.3.2. DURABILIDAD.

El deterioro natural del material asfáltico se puede clasificar como deterioro por intemperie, la capacidad de un material asfáltico para resistir el deterioro por intemperie se describe como la ***durabilidad del material***.

Podemos mencionar algunos factores que intervienen en el deterioro por intemperie como son:

- La oxidación, que es la reacción química cuando el material asfáltico es atacado por el oxígeno del aire.
- La volatilización, que es la evaporación de los hidrocarburos más ligeros del material asfáltico.
- La temperatura, esta posee un efecto importante sobre la velocidad de oxidación y de volatilización.
- El Área Superficial, el área expuesta del material también influye en la tasa de oxidación y volatilización.
- El Endurecimiento por envejecimiento, la velocidad a la cual ocurre el endurecimiento por envejecimiento es relativamente alta durante las primeras horas después del enfriamiento, pero disminuye gradualmente y se hace casi despreciable al año.

### 2.3.3. VELOCIDAD DE CURACIÓN.

La curación se define como el proceso a través del cual aumenta la consistencia de un material asfáltico, a medida que pierde el disolvente por evaporación.

### 2.3.4. RESISTENCIA A LA ACCIÓN DEL AGUA.

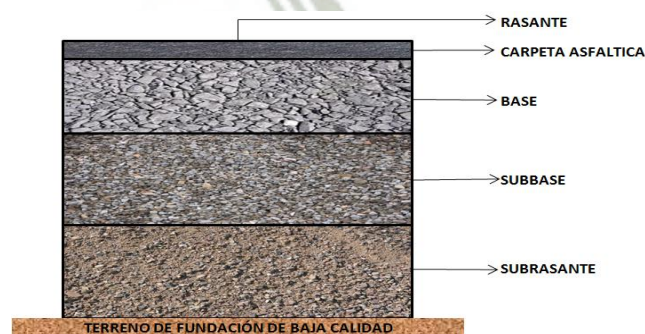
Cuando se usan materiales asfálticos, es importante que el asfalto continúe adherido a los agregados aun en presencia de agua, si se pierde esta liga entre el asfalto y los agregados, el asfalto va a quedar despojado de los agregados, lo que conduce al deterioro del pavimento.

## 2.4. CLASIFICACIÓN DEL PAVIMENTO

### 2.4.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Los esfuerzos se transmiten al terreno de fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo paulatinamente con la profundidad.<sup>3</sup>

**Figura N° 2.1. Estructura de un Pavimento Flexible**



Fuente: Elaboración propia

<sup>3</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2002.

### **2.4.1.1. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.**

Alfonso Montejo detalla a continuación las características de las capas de un pavimento flexible.<sup>4</sup>

#### **SUBRASANTE.**

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

#### **CAPA DE SUBBASE.**

Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, se recomienda distribuir la parte superior con capas más calificadas y en la parte inferior las de menor calidad, esta capa también en algunos casos se utiliza para el drenaje del agua entre las capas e impedir la ascensión capilar.

#### **CAPA DE BASE.**

Su función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

---

<sup>4</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2002

### **CARPETA ASFALTICA.**

Superficie de rodamiento que 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

### **2.4.2. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS.**

Este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente el valor de la construcción.<sup>5</sup>

### **2.4.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

Este tipo de pavimentos está constituido fundamentalmente por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre las subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un

---

<sup>5</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002.



pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.<sup>6</sup>

#### **2.4.3.1. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO.**

##### **CAPA DE SUBBASE**

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la influencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas.<sup>7</sup>

##### **LOSA DE CONCRETO**

La función de la losa de concreto en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta del pavimento flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

<sup>7</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

<sup>8</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

#### **2.4.4. PAVIMENTOS ARTICULADOS.**

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre las subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento (Montejo, 2002).

##### **2.4.4.1. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO ARTICULADO.**

###### **CAPA DE BASE**

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesto por dos o más capas de materiales seleccionados.

###### **CAPA DE ARENA**

Es la capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

## **ADOQUINES**

Deben tener la resistencia adecuada para soportar las cargas de tránsito y en especial, el desgaste producido por este.

## **SELLO DE ARENA**

Está constituido por arena fina que se coloca como relleno de juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuye al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.<sup>10</sup>

## **2.5. ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

### **2.5.1. 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 éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.<sup>11</sup>

Los estudios de tránsito sirven tanto para los análisis de ingeniería como para soportar los estudios económicos y estudios de factibilidad.

---

<sup>10</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

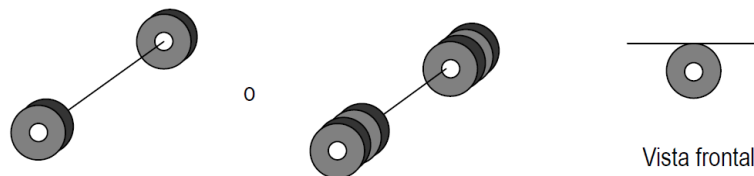
<sup>11</sup> MONTEJO FONSECA, Ingeniería de Pavimentos para carretera, 2002

## 2.5.2. DEFINICIONES

Según el Reglamento Nacional de Vehículos, estos se clasifican según la cantidad y el tipo de ejes que lo componen. (S. Minaya, A. Ordoñez, 2006)<sup>12</sup>

### a) Tipos de Eje.

Eje sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.



Eje tándem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Eje trídem: Son tres ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



### b) Volumen de tránsito.

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o un carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son vehículos/día; vehículos/hora, etc.

<sup>12</sup> MINAYA, S., ORDOÑEZ, A. Diseño Moderno de Pavimentos, UNI, 2006

**c) Índice Medio Diario, (IMD).**

Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo.

Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser *índice medio diario anual (IMDA)*, *índice medio diario mensual (IMDM)* o *índice medio diario semanal (IMDS)*.

### **2.5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS**

El D.S.Nº058-2003-MTC titulado “Reglamento Nacional de Vehículos”, reglamenta entre otras cosas los pesos y dimensiones máximas de los vehículos para transporte terrestre.







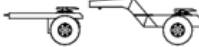

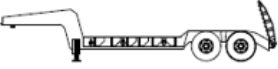

### **2.5.4. PERIODO DE DISEÑO**

El pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier período de tiempo. El período seleccionado en años, para el cual se diseña el pavimento, se denomina *período de diseño*. Al final de este período puede esperarse que el pavimento requiera trabajos de rehabilitación, para devolverle a la vía un adecuado nivel de transitabilidad.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> MINAYA, S., ORDOÑEZ, A. Diseño Moderno de Pavimentos, UNI, 2006

**Figura N° 2.2. Clasificación Vehicular.**

Transporte de pasajeros.		DESCRIPCION	PESO
M1		No mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	N.A
M2		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Hasta 5 Tn.
M3		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Mas de 5 Tn.
Transporte de mercancía.			
N1		Furgonetas y camiones ligeros	Hasta 3.5 Tn.
N2		Furgonetas y camiones tamaño medio	Entre 3.5 y 12 TN.
N3		Camiones pesados	Mas de 12 Tn.
Remolques.			
O1		Remolques	Menos de 0.75 Tn.
O2		Remolques y caravanas	Entre 0.75 y 3.5 Tn.
O3		Remolques tamaño medio	Entre 3.5 y 10 Tn.
O4		Trailers	Mas de 10 Tn.

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos D.S. N° 058-2003-MTC

### 2.5.5. CARRIL DE DISEÑO

Carril por el cual se espera la circulación de mayor número de cargas de diseño.

Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro.

En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro.

### 2.5.6. CRECIMIENTO DEL TRANSITO

El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un período de años; por lo tanto, el crecimiento del tránsito se debe anticipar.<sup>14</sup>

La **AASHTO** recomienda el uso de un factor total de crecimiento que es equivalente al producto del factor de crecimiento por el período de diseño y se calcula con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$
15

Donde:

r : Tasa de crecimiento anual, %

n : Período de diseño en años

### 2.5.7. ESTIMACION DEL ESAL

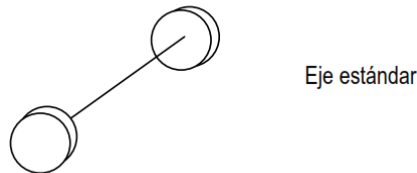
El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de **ESAL**, que es “*equivalent single axle load*”, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El

<sup>14</sup> MINAYA, S., ORDOÑEZ, A. Diseño Moderno de Pavimentos, UNI, 2006

<sup>15</sup> AASHTO, Guide for design of pavement structures, 1993

ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

El ESAL pesa 18,000 lb ó 8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1.<sup>16</sup>



### 2.5.8. FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, **FEC**. Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la **AASHO Road Test**. Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como:

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^4$$

Donde:  $P_0$  es la carga estándar y  $P_1$  es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular:

<sup>16</sup> MINAYA, S., ORDOÑEZ, A. Diseño Moderno de Pavimentos, UNI, 2006



**Tabla N° 2.1. Factores de equivalencia de carga para diferentes configuraciones de ejes y cargas.**

Carga Total por Eje o conjunto de Ejes		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tándem	Ejes Trídem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.1	18,000	0.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.7	26,000	4.09	0.364	0.080
124.6	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
177.9	40,000	21.08	2.08	0.487
186.8	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.6	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.1	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
266.9	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.7	64,000		12.22	3.22
293.6	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.4	70,000		17.19	4.52
320.3	72,000		19.16	5.03
329.2	74,000		21.32	5.57
338.1	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
355.9	80,000		29.00	7.45
364.8	82,000		32.00	8.20
373.7	84,000		35.30	8.90
382.5	86,000		38.80	9.80
391.4	88,000		42.60	10.60
400.3	90,000		46.8	11.60

Fuente: Elaboración propia en base a la Guía AASHTO 1993

### 2.5.9. FACTOR CAMIÓN, FC

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- a) Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- b) Estimar el F.C. por algún método empírico.

## 2.6. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

### 2.6.1. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Recabar la información acerca de la condición del pavimento es generalmente la fase más costosa de un Sistema de Gestión de Pavimentos, la información acerca de la condición puede ser recolectada utilizando métodos muy costosos o relativamente barata.

Para efectuar la evaluación superficial de pavimentos se considera la necesidad de identificar los deterioros o fallas del pavimento, que serán materia de evaluación específicamente en relación a las características físicas de la calzada y su superficie de rodadura. La metodología de **recolección de datos** se basa principalmente en la inspección visual del pavimento, debiéndose hacer las anotaciones de lo observado mientras se maneja o camina sobre la vía, en formatos adecuados para tal fin.

### 2.6.2. DEFECTOS SUPERFICIALES

Las evaluaciones de defectos superficiales pueden realizarse manualmente, o utilizando equipos. Para poder tomar alguna decisión sobre el pavimento nosotros necesitamos realizar los siguientes pasos.

- Determinar el **tipo de defecto**, es un indicador de tipo de daño que existe.
- Determinar la **severidad del defecto**, muestra cuán grande es el daño.
- Determinar la **cantidad de defectos**, esta nos dice cuando de ese tipo de defecto y de severidad existe.

La definición estándar de los tipos de defectos y niveles de severidad están incluidas en uno de los sistemas más utilizados por los gobiernos municipales es el sistema PAVER, sin embargo a este sistema se le critica por tener un número excesivo de defectos (19 para asfalto y 19 para concreto).

Las diferentes agencias se han acondicionado acortando defectos, ya que en la mayoría de casos solo se utilizan algunos.

Los niveles de severidad de los defectos también han evolucionado, la *Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA)*, utilizando el Manual de Identificación de defectos para el comportamiento de Pavimentos a largo plazo (Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program) del programa de Investigación Estratégico de carreteras Strategic Highway Research Program (SHRP)

han tratado de evitar utilizar niveles de severidad y basarse en medidas directas para definir la severidad y reducir la subjetividad.

### 2.6.3. METODOLOGIA PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

El índice de condición del pavimento (Pavement Condition Index - PCI) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos dentro de los métodos de gestión vial disponibles en la actualidad. Es un indicador de la salud de la vía.<sup>17</sup>

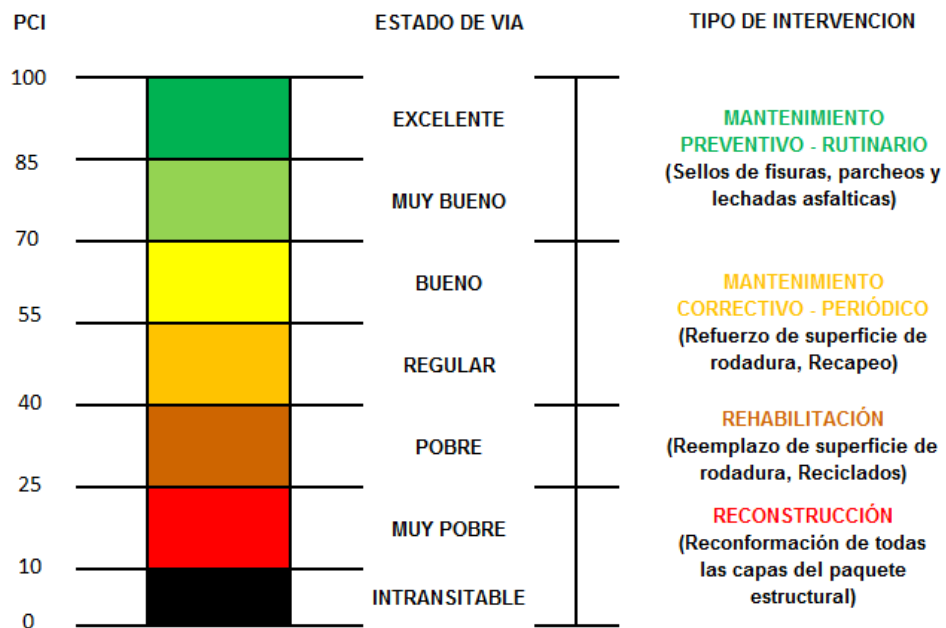
El método de evaluación de pavimentos (PCI) fue desarrollado en 1978 por los Ph.D. M.Y. Shahin y S.D. Khon, junto a su equipo en el laboratorio de Investigaciones de Construcción de Ingeniería del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (CERL), el cual perteneció al SISTEMA PAVER este sistema de Evaluación y Administración de Pavimentos fue creado para un uso militar y civil.

La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las formulaciones que constituyen el sistema. Se puede utilizar cualquier escala; sin embargo es conveniente usar una que sea lo suficientemente grande para que permita distinguir con números enteros a pavimentos en diferente condición. El PCI desarrollado por el sistema PAVER es comúnmente utilizado para la gestión de pavimentos, y su escala es del 0 a 100, tal y como se aprecia en la **Figura N° 2.4**.

---

<sup>17</sup> MANUAL DEL PCI, PCI para pavimentos Asfálticos y de Concreto en carreteras.

**Figura N° 2.4. Escala de PCI y tipo de intervención.**



Fuente: Elaboración propia basada en el Manual del PCI

#### 2.6.4. RELEVAMIENTO DIRECTO

En general los sistemas de relevamiento son muy similares entre sí, y al obtener información directa, se cuantifica y mide las mismas fallas existentes, tanto en métodos basados en el cuerpo de ingenieros de los EE.UU. como en el LTPP, se realizaron mediciones directas, tal como se describe a continuación.

El modelo de aplicación del relevamiento de fallas y sus resultados, han sido incorporados dentro de la nueva guía AASHTO, siendo su empleo el mas recomendado para la evaluación de pavimentos en la actualidad.

En 1987, el SHRP dio inicio al mayor ensayo sobre funcionamiento de carreteras en el mundo conocido como LTPP (Long Term Pavement Performance). Durante este programa de 20 años, las agencias de

carreteras de los EEUU y de otros 15 países recolectaron datos sobre la condición de los pavimentos, para lo cual la herramienta universal es el Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Comportamiento de Pavimentos a Largo Plazo (LTPP).

Las diferencias principales entre ambos métodos lo caracteriza el tipo de falla descrita como BUMPS and SAGS (Abultamientos y hundimientos), CORRUGACION, DESPLAZAMIENTO y SPLIPPAGE, ya que el método SHRP no lo considera como tal sino que los engloba dentro de las fallas tipo CORRIMIENTOS. Así mismo el método SHRP no considera las fallas de cruce de línea férrea.

## **2.7. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

La evaluación de la condición estructural, se utiliza para conocer la capacidad portante de la estructura de un pavimento, es decir, si el pavimento está en capacidad de soportar las cargas de tráfico actuantes en la vía, para esta evaluación debemos incluir la medición de diferentes parámetros que permitan hacer una correlación superficial del pavimento con alguna respuesta de la estructura ante la aplicación de una carga como lo mencionamos anteriormente.

Para determinar las cualidades estructurales de una vía, podemos diferenciar dos tipos de Ensayos, Ensayos Destructivos y no Destructivos, los cuales los desarrollaremos a continuación.

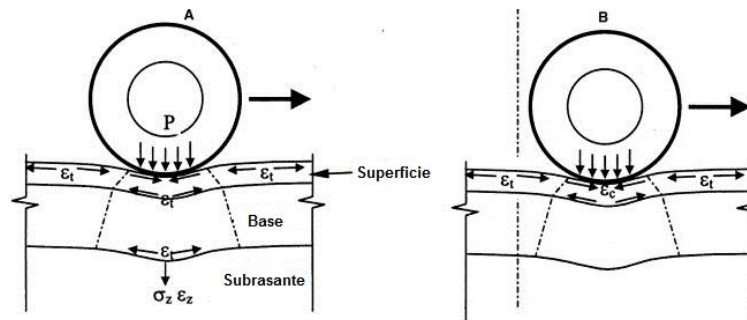
- **Ensayos Destructivos.** Tradicionalmente se han realizado mediante calicatas, tomando muestras de diferentes capas del pavimento como la base, sub-base, asfalto y suelo de fundación, con la finalidad de determinar algunas características estructurales de cada material, para así poder realizar una evaluación y poder dimensionar las capas de una determinada vía. Sin embargo esta técnica se altera el pavimento, su ejecución es lenta y muy costosa.
- **Ensayos No Destructivos.** Son frecuentemente empleados para no causar daños en el pavimento existente, son muy usados ya que no causan ningún daño en el pavimento y poseen una gran factibilidad de ejecución.

### 2.7.1. LA DEFLECTOMETRÍA Y SUS USOS

Un método muy sencillo y factible para poder conocer la capacidad estructural del pavimento es aplicar una carga a la superficie de rodadura y medir las deflexiones.

La deflexión en los pavimentos representa la respuesta de los mismos ante un estímulo, que vendrían a hacer las cargas de tráfico. Se puede definir también como la deformación vertical bajo el punto de aplicación de la carga.

**Figura N° 2.5. Deflexión en el Pavimento Asfáltico**



**Fuente: F. Leiva, Modelo de deformación permanente para la evaluación de la condición del pavimento**

Dependiendo de la estructura de pavimento, la subrasante contribuye entre un 70 a 95 % de la deflexión medida en la superficie del pavimento, es decir que la mayor deflexión en los pavimentos es causada por la compresión elástica de la subrasante.<sup>18</sup>

También se debe tener en cuenta que la magnitud de la deformación en un material considerado en cualquier punto de la estructura del pavimento está directamente relacionada con el estado triaxial de esfuerzos, entendemos por esto que cuando decrecen los esfuerzos verticales en la subrasante, la deflexión decrece. Esto significa que al incrementar los espesores de las capas superiores o incrementar su rigidez, la deflexión decrece.

Siendo la deflexión una medida de la respuesta estructural del conjunto pavimento – subrasante frente a una determinada sollicitación de carga, como lo explicamos anteriormente se puede efectuar el análisis deflectométrico para los siguientes fines.

<sup>18</sup> CORREDOR M., Manual de Herramientas para la Evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles, Mayo 2009.



### ***Análisis estadístico de las deflexiones del tramo en evaluación.***

- Determinar los periodos críticos en que se origina un mayor deterioro del pavimento, basándose en la variación estacional de las deflexiones.
- Como un indicador para estimar la “capacidad de soporte” del pavimento para resistir las cargas de tráfico durante su vida útil.
- Esbozar estrategias de mantenimiento en los sistemas de gestión de pavimentos.
- Análisis de la relación deterioro-fatiga usando procedimientos de cálculo regresivo.
- Correlación entre los valores de deflexiones y la presencia o rápido desarrollo de fallas por fatiga y la posibilidad de establecer un rango de valores tolerables en relación al tránsito.

## **2.7.2. EQUIPOS NO DESTRUCTIVOS**

### **2.7.2.1. Clasificación de Equipos No Destructivos**

Podemos distinguir tres clases de equipos no destructivos mediante diferentes tipos de cargas.

#### ***a) Equipos de medición de deflexiones ante una carga estática.***

Miden la deflexión ante la acción de una carga estática o que es aplicada lentamente. Entre los equipos más simples y versátiles esta la **Viga Benkelman**. Otro tipo más sofisticado es el Deflectógrafo La Croix.

***b) Equipos de medición de deflexiones ante una carga dinámica cíclica***

Aplica al pavimento una carga estática precargada con una frecuencia de vibración sinusoidal. Los equipos que más se emplean dentro de esta categoría son el Dynaflect y el Road Rater.

***c) Equipos de medición de deflexiones ante una carga impulsada.***

En este caso una carga “se deja caer” desde una altura determinada impactando sobre una placa que está en contacto con el pavimento. La magnitud del impacto puede ser predeterminada, variando la carga o la altura de caída. Este principio es utilizado por equipos como el Dynatest, KUAB y el Phoenix Falling Weight Deflectometer.

**2.7.2.2. Ventajas y Desventajas de los Equipos De Medición No Destructivas.**

**a) Equipos de medición de deflexiones ante una carga estática (Viga Benkelman, Placa de Carga)**

**Ventajas**

- Bajo costo del equipo.
- Simplicidad en su uso.
- Posibilidad de ser empleados con cargas reales

- Han sido ampliamente utilizados en nuestro País y existen numerosos procedimientos de análisis disponibles para ser usados con esta información.

### **Desventajas**

- Requieren de un trabajo intensivo
- Estos son lentos, para vías de mayor longitud se dificultan porque se utilizaran más equipos y mayor personal.
- Las mediciones dependen de la técnica empleada.
- No es la mejor manera para obtener la curva deflectométrico elasto-retardada de la estructura pavimento-subrasante.

### **b) Equipos que miden la deflexión antes las cargas vibratorias dinámicas.**

#### **Ventajas**

- Tiene un mayor grado de confiabilidad.
- Permite presentar mejor la curva deflectométrico elasto-retardada de la estructura pavimento subrasante.

#### **Desventajas**

- Se requiere un control de tránsito vehicular para este tipo de ensayos.
- Las cargas dinámicas son significativamente menores que las producidas por el tráfico normal.
- Las cargas aplicadas, relativamente pequeñas, podrían producir deflexiones no adecuadas en pavimentos de gran espesor.

### 2.7.2.3. Deflexión Admisible

La deflexión es un parámetro utilizado para la verificación de la capacidad estructural de un pavimento. Algunos Métodos empíricos proponen el uso de fórmulas para el cálculo de la deflexión admisible, se le puede definir como la deflexión tolerable del pavimento, esta es utilizada para determinar si la estructura del pavimento brinda un soporte estructural adecuado a la serviciabilidad de los usuarios.

Podemos mencionar algunas fórmulas empleadas para calcular la deflexión admisible.

- De acuerdo con el criterio del Instituto del Asfalto.

$$D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383} \quad \text{Ec. N° 2.1}$$

- De acuerdo con el criterio de CONREVIAl que utiliza la siguiente expresión.

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25} \quad \text{Ec. N° 2.2}$$

- De acuerdo con el criterio California, para un espesor de concreto asfáltico existente de 5.00 cm.

$$D_{adm} = 6.237 N^{-0.165} \quad \text{Ec. N° 2.3}$$

Donde:

$N$  = ESAL (Número de ejes equivalentes utilizados para el diseño de pavimento.)

Estas fórmulas por ser empíricas son muy sensibles a parámetros como el tráfico de la vía, espesor de carpeta asfáltica y características de los materiales y son de aplicación para la zona y condiciones de carga bajo las cuales han sido desarrolladas.

### 2.7.3. EVALUACIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO DE VIGA BENKELMAN

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona<sup>19</sup>

#### 2.7.3.1. Características de la Viga Benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la **Figura N° 2.6**, la viga consta esencialmente de dos partes:

- Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B")
- Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un micrómetro de movimiento vertical (punto "E").

---

<sup>19</sup> MARIO S. HOFFMAN, PH.D., PABLO M. DEL ÁGUILA, B.SC , Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos), Octubre, 1985

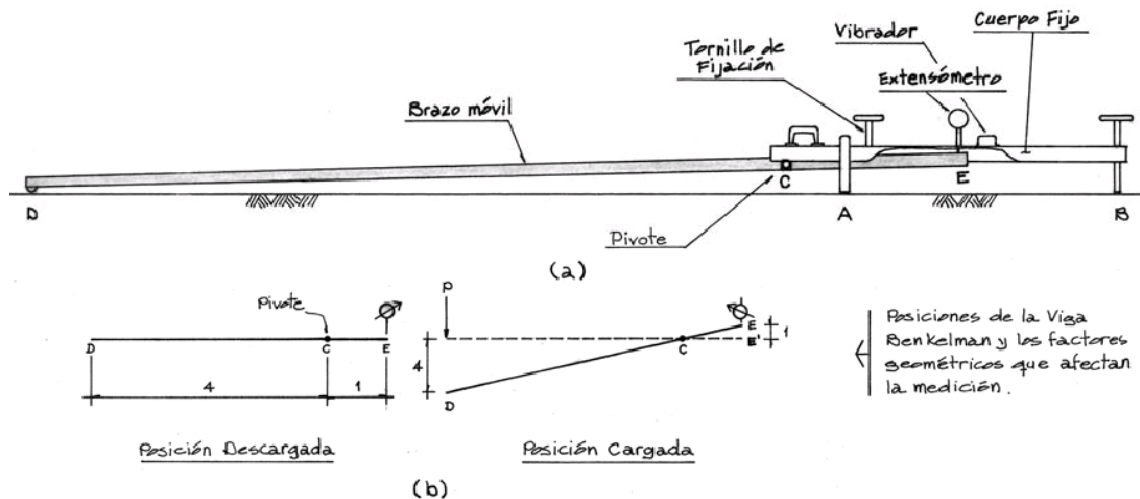
Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del micrómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del micrómetro.

La operación realizada representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar la deflexión del pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga,

toda vez que los valores dados por el micrómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes, tal como se ve en la **Figura N° 2.6 a.**

**Figura N° 2.6. Esquema y principio de la Viga Benkelman.**



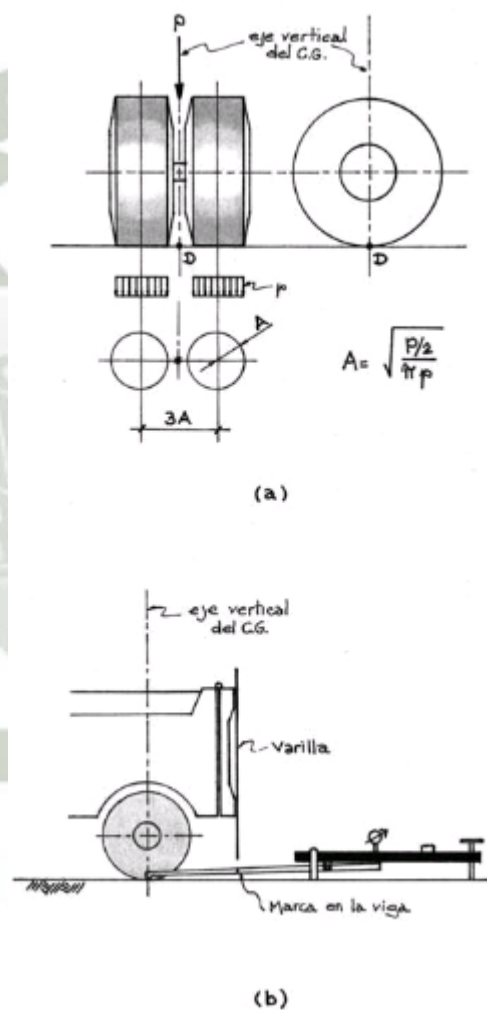
**Fuente:** HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

### 2.7.3.2. Procedimiento del ensayo de la Viga Benkelman.

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 18,000 libras (80 kN) a través de la guía de diseño AASHTO en la normativa T256-01 Apartado 6 (Aparatos), proporcionando 9,000 libras por cada una de las llantas duales del eje trasero de un camión tipo C2, con una presión en las llantas de 0.48 a 0.55 Mpa (70 a 80 Psi). Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumplan estas condiciones (por medio de basculas fijas ó móviles), así como la presión de las llantas sea la requerida. Una vez localizado el lugar donde se

realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en el lado exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver **Figura N° 2.7 a**).

**Figura N° 2.7. Configuración Geométrica del Sistema de Carga en la Viga Benkelman.**



**Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)**



Las mediciones se realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se aleja. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador

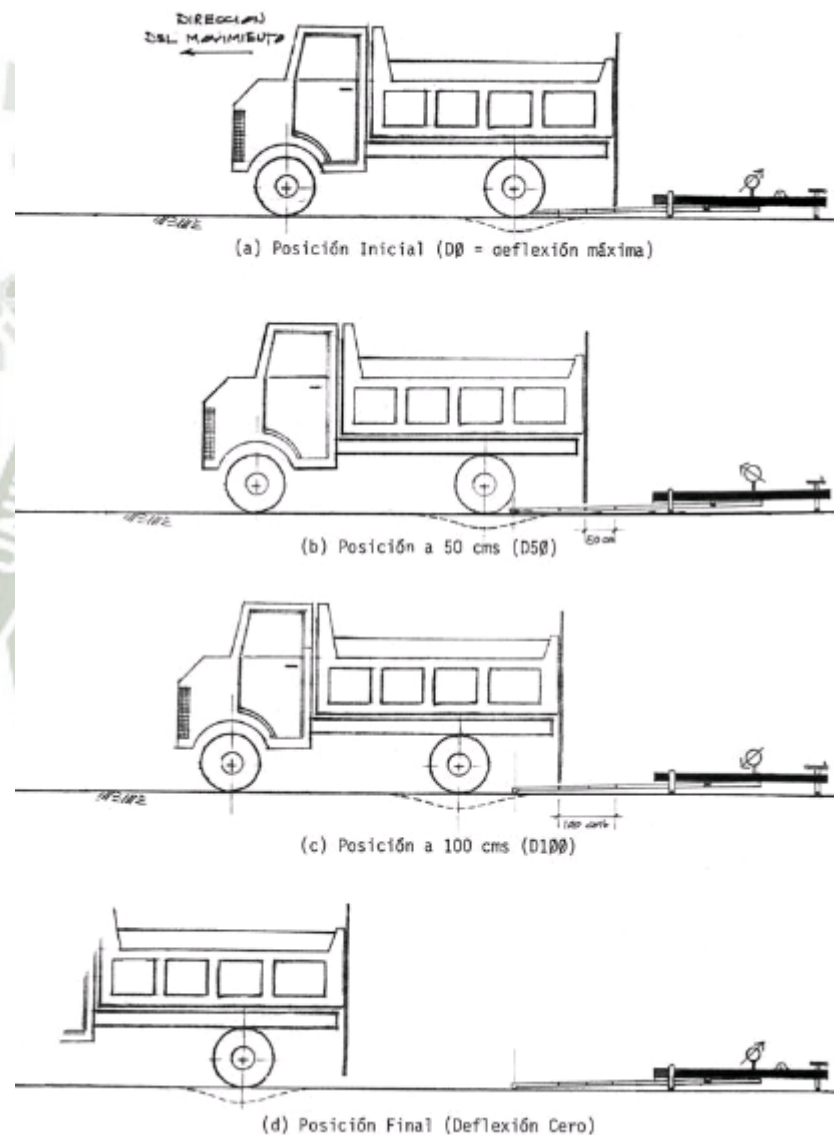
Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver **Figura N° 2.7 a**), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, basta con hacerlas coincidir para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de gravedad del conjunto.

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm.). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de ensayos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, no deberá hacerse modificaciones, si las

deflexiones tomadas en la primera marca adicional están en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

**Figura Nº 2.8. Esquematzación del Proceso de Medición con la Viga Benkelman**



**Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)**

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver **Figura N° 2.8**), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.

Se coloca el dial del micrómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (**Figura N° 2.8** b, c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (*aproximadamente 8.00 m, según norma AASHTO T256-01 Apartado 8.4.2.3.*), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Es importante tomar la temperatura del pavimento según la norma *AASHTO 93 T256-01 apartado 8.1.6.* de la siguiente manera: se realiza una perforación en el pavimento, se llena este agujero con un líquido como agua, glicerina u otro producto a base de aceite, y luego se introduce el termómetro hasta el fondo del agujero para obtener la temperatura, si la prueba se extiende por un período de tiempo mayor a una hora se tomará la temperatura cada hora para establecer una correlación directa entre el aire, la superficie del pavimento y la medición de la misma temperatura. Si no es posible tomar la temperatura, algunos procedimientos (Report No. FHWA-RD-98-085, "Predicciones de temperatura y factores de ajuste para

pavimentos de asfalto”) existen para estimar la temperatura de los pavimentos en función de la profundidad usando las temperaturas máximas y mínimas del día anterior.

No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestas por un tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas (*menor a 5 cms, según Guía de Diseño AASHTO 93, Capítulo 11 Fig. 11.4*), colocadas sobre bases cuyo modulo de rigidez sea insensibles a cambios de temperatura. Si las carpetas asfálticas son de gran espesor (*mayores de 30 cms según Guía de Diseño AASHTO 93, Capítulo 11 Fig. 11.4*), el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se recomienda aplicar algún factor de corrección, cuando las temperaturas son menores o iguales a 49° C. (*según la Fig. 11.4 de la Guía de Diseño AASHTO 93*). Hay que tomar en cuenta que la figura corresponde a base granular o estabilizada con asfalto.

### 2.7.3.3. Cálculos de Parámetros de Ensayo

#### ***Cálculo de Deflexiones.***

Para hacer los cálculos de las deflexiones máximas, se debe calcular la lectura inicial y la lectura final. Para la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura final y la lectura a 25 cm.

Estas diferencias se multiplican por la relación de brazos de la **Viga Benkelman** que usamos, en este caso la relación de 1:4, su factor es

de 4 pero, en el caso que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicara el factor que corresponda.

Se usaran las siguientes fórmulas:

$$D_0 = 4(L_m - L_0)$$
$$D_{25} = 4(L_m - L_{25})$$

#### Ec. N° 2.4

Donde:

$L_m$ : Lectura final en 0.01 mm

$L_0$  : Lectura inicial en 0.01 mm

$L_{25}$  : Lectura a los 25 cm en 0.01 mm

#### ***Cálculo del Radio de Curvatura.***

El grado de curvatura de la línea elástica de deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas el flexionar bajo las cargas de tránsito. El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{3125}{D_0 - D_{25}} \quad \text{Ec. N° 2.5}$$

Donde:

$RC$  : Radio de Curvatura.

$D_0$  : Deflexión máxima.

$D_{25}$  : Deflexión a 25 cm.

### ***Cálculo de Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura.***

Para un pavimento, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento de la temperatura de la carpeta asfáltica, atribuido a una menor rigidez de la mezcla. Para corregir la deflexión se corrigen respecto a una temperatura estándar de 20°C.

$$D_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{D_0}{0.001(t-20^{\circ}\text{C})(h)+1} \quad \text{Ec. N}^{\circ} 2.6$$

$D_0$  : Deflexión recuperable a la temperatura  $t$ .

$D_{20}$  : Deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C).

$h$  : Espesor de la carpeta asfáltica en cm, medido en el borde del pavimento.

$t$  : temperatura de la carpeta asfáltica al momento de ejecutarse el ensayo.

### ***Cálculo de la Deflexión Característica.***

La deflexión característica, es un parámetro estadístico, empleado para la caracterización representativa de los pavimentos. Para su determinación, es necesario contar con una base de datos de deflexiones recuperables máximas ( $D_0$ ), del tramo que se quiere evaluar, y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

A continuación se presenta la siguiente fórmula para poder hallar la Deflexión característica.

$$D_C = D + t \times \sigma \quad \text{Ec. N}^{\circ} 2.7$$

$D_C$  : Deflexión característica.

$t$  : Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_c$ .

$D$  : Deflexión promedio de los valores individuales de  $D_o$  corregidos por temperatura.

$\sigma$  : Desviación Estándar.

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “ $t$ ” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la característica  $D_c$  correspondiente.

Podemos indicar los siguientes valores más frecuentes en la siguiente tabla.

**Tabla N° 2.2 Valores de deflexión característica.**

Valor de Diseño %	Deflexión Característica	Extensión del Pavimento con $D > D_c$ (%)
50	$D$	50
75	$D + 0.674 * \sigma$	25
85	$D + \sigma$	15
90	$D + 1.3 * \sigma$	10
95	$D + 1.645 * \sigma$	5
98	$D + 2 * \sigma$	2
99	$D + 2.33 * \sigma$	1
99.99	$D + 3 * \sigma$	0.1

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016), Norma MTC E 1002.

## 2.8. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO MECANÍSTICO – EMPÍRICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008

### 2.8.1. IMPORTANCIA Y USO DEL MEPDG.

El método MEPDG (*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*) (Guía de Diseño Mecanístico- Empírico de Pavimentos) representa un cambio sustancial en la manera de cómo se realiza el proceso de diseño. El término mecanístico se refiere a la aplicación de los principios de la mecánica de los pavimentos, lo que conduce a un proceso racional de diseño que tiene tres elementos básicos<sup>20</sup>:

1. ***La teoría utilizada para predecir las respuestas críticas del pavimento (deformaciones, esfuerzos, deflexiones, etc.), como una función del tráfico y la carga climática.***
2. ***Procedimientos de caracterización de los materiales que le dan soporte y son consistentes con la teoría seleccionada***
3. ***Las relaciones definidas entre los parámetros críticos de las respuestas del pavimento y las fallas observadas en el campo, que viene hacer la parte empírica.***

El MEPDG proporciona un conjunto uniforme y completo de procedimientos para el análisis y diseño de pavimentos flexibles nuevos y rehabilitados. El MEPDG emplea parámetros comunes de diseño para el ***tráfico, los materiales, la subrasante, el clima y la confiabilidad*** para todos los tipos de pavimento y puede ser utilizado para desarrollar

---

<sup>20</sup> ERES CONSULTANT INC. - ARIZONA STATE UNIVERSITY-ASU, Guía de Diseño Mecanístico – Empírico de Pavimentos – Manual Práctico; 2008



diseños alternativos empleando una variedad de materiales y procedimientos de construcción.

El resultado del MEPDG es predecir los deterioros y fallas del pavimento al nivel de confiabilidad seleccionado. Por lo tanto, **no es un procedimiento de diseño directo de espesores**, sino más bien es una herramienta de análisis para que el diseñador la use de manera iterativa. Específicamente el MEPDG se utiliza para evaluar un diseño de prueba (combinación de tipos de capas, espesor de la capa y características de diseño) para un determinado conjunto de condiciones locales y los criterios de fallas de un nivel determinado de confiabilidad.<sup>21</sup>

### 2.8.2. EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO AASHTO.

- En el período de 1958 a 1960 se realizaron los Experimentos Viales de la AASHTO.
- La primera Guía de Diseño AASHTO que se emitió fue en 1961. Esta fue revisada y expandida muchas veces.
- En 1961 y 1962 se realizó la Guía Provisional de AASHTO.
- En 1972 se revisó la Guía Provisional AASHTO.
- En el año de 1981 se revisó el Capítulo III referente a pavimentos Rígidos.
- En 1986 apareció la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO.

---

<sup>21</sup> ERES CONSULTANT INC. - ARIZONA STATE UNIVERSITY-ASU, Guía de Diseño Mecánico – Empírico de Pavimentos – Manual Práctico; 2008

- En 1993 apareció la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO con el concepto del proceso de diseño de sobrecapas.
- En el año de 1998 se presentó un suplemento para la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO de 1993 que estaba enfocado al diseño de pavimentos rígidos. En esta etapa de la Guía de Diseño AASHTO se comenzó con los principios del método mecanicista.
- Este fue el comienzo del uso del método Mecánico-Empírico y el comienzo de una nueva era del diseño de pavimentos con la nueva Guía de Diseño AASHTO 2002.

Los clásicos métodos de AASHTO surgieron debido a las pruebas anteriores, presentando muchas modificaciones en sus versiones pero aunque todavía son de carácter empírico, se diferencia del nuevo método de diseño AASHTO 2002 en que ahora contiene una base mecanicista, apoyada en la teoría de la elasticidad y en la aplicación de modelos de deterioro de pavimentos.

La guía de diseño AASHTO 2002 representa un mayor cambio en la forma del desarrollo del diseño del pavimento. El diseñador considera en primer lugar las condiciones de sitio como tráfico, clima, subrasante, condiciones del pavimento existente para el caso de rehabilitación y en segundo lugar una propuesta de un diseño de prueba que se ajusta de acuerdo a los comportamientos estructurales y funcionales obtenidos.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> FIGUEROA J., Tesis "Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002", 2005

El diseñador está completamente envuelto en el proceso de diseño y tiene la flexibilidad para considerar diferentes características de diseño y materiales predominantes del sitio.

El formato empírico-mecanicista de la Guía de Diseño AASHTO 2002 provee un bosquejo para el continuo mejoramiento y mantenimiento con cambios en el transporte, materiales, construcción, conceptos de diseño, uso de software, etc.<sup>23</sup>

Yoder y Witczak (1975) señalaron que el proceso de diseño de cualquier pavimento para ser completamente racional, se deben considerar tres elementos primordiales, los cuales la Guía de Diseño considera:

- La teoría para predecir las fallas asumidas ó parámetros de deterioro.
- La evaluación de las propiedades de los materiales aplicables a la teoría seleccionada.
- La determinación la relación de la magnitud de los parámetros en cuestión al nivel de desarrollo deseado.

El método mecanicista se apoya en la teoría de la elasticidad lineal o no lineal. Es válido considerar la teoría elástica lineal en primera aproximación dado que las deformaciones que sufre el pavimento por las cargas de tránsito son prácticamente elásticas. Se debe considerar la teoría de la elasticidad dado que el tiempo de aplicación de la carga que ejercen las llantas al pavimento es muy pequeño.

---

<sup>23</sup> FIGUEROA J., Tesis "Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002", 2005

### 2.8.3. VISIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS DEL DISEÑO MECANICISTA-EMPÍRICO

#### 2.8.3.1. DEFINICIONES.

##### ***Diseño Empírico.***

- Está basado en resultados de experimentos o experiencias de campo.
- Vincula variables de diseño e indicadores de comportamiento (AASHTO '93, Método CBR, etc.)
- Las relaciones observadas no están necesariamente asociadas a una base científica.

##### ***Diseño Mecanicista.***

- Es una aproximación puramente científica.
- Confía en el comportamiento estructural mecánico al efectuar la carga de la estructura.
- Se deben conocer las características fundamentales de los materiales y conocer exactamente las características geométricas de la estructura.

##### ***Diseño Mecanicista-Empírico.***

- Combina aspectos mecanicistas y empíricos.
- Involucra componentes mecanicistas para determinar la respuesta del pavimento debido a cargas a través de modelos matemáticos.
- Los componentes empíricos relacionan las respuestas del pavimento con su funcionamiento.

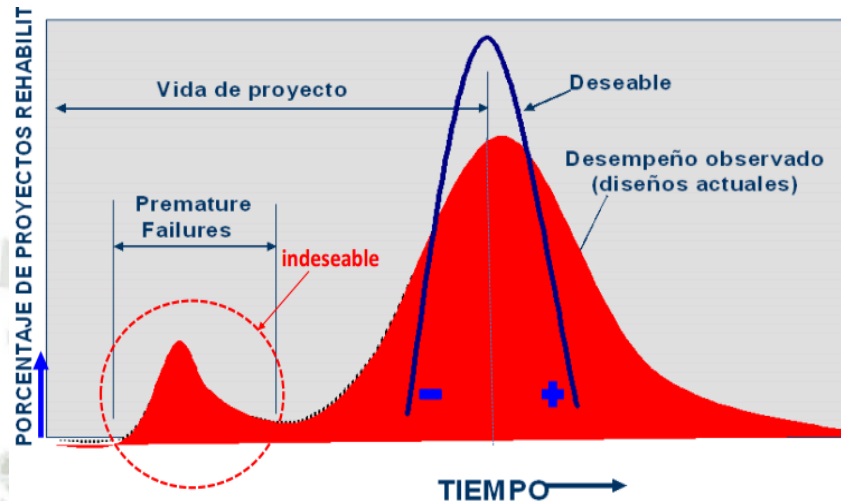
- Cada tipo de deterioro se asocia a una respuesta crítica del pavimento.

### 2.8.3.2. VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO MECANICISTA-EMPÍRICO.

- El diseño ya no es solo para el espesor de la estructura.
- Aproximación comprensiva incluyendo consideraciones estructurales y de los materiales.
- Guía mejorada para el diseño de rehabilitación de pavimentos (sobrecapas o recubrimientos).
- Manejo mejorado de efectos climáticos y diseños de seguridad.
- Nuevos Conceptos:
  - ✓ *Funcionamiento basado en deterioros y calidad de la carretera.*
  - ✓ *Mejor caracterización de pavimentos existentes.*
  - ✓ *Consideraciones directas de drenaje y erosión de la subbase.*
- Adaptabilidad:
  - ✓ *Mejor habilidad para manejar las características cambiantes del tránsito.*
  - ✓ *Capacidad para incorporar materiales pavimentados disponibles.*
  - ✓ *Capacidad de extrapolar de los estudios de campo y laboratorio.*
- A través de una consideración directa de indicadores críticos del funcionamiento pavimento, la metodología del diseño mecanicista-empírico trata de prevenir la ocurrencia de fallas prematuras del

pavimento. Tal vez este es el beneficio más grande del método mecanicista-empírico.

**Figura N° 2.9 Mejora en la confiabilidad de los diseños.**



Fuente: Conceptos Mecanicistas en Pavimentos. Paul Garnica, Ángel Correa

## 2.8.4. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO MECANICISTA-EMPÍRICO

### 2.8.4.1. Estructuras y componentes del diseño Mecanicista-Empírico.

**Figura N° 2.10 Componentes del diseño Mecanicista-Empírico.**

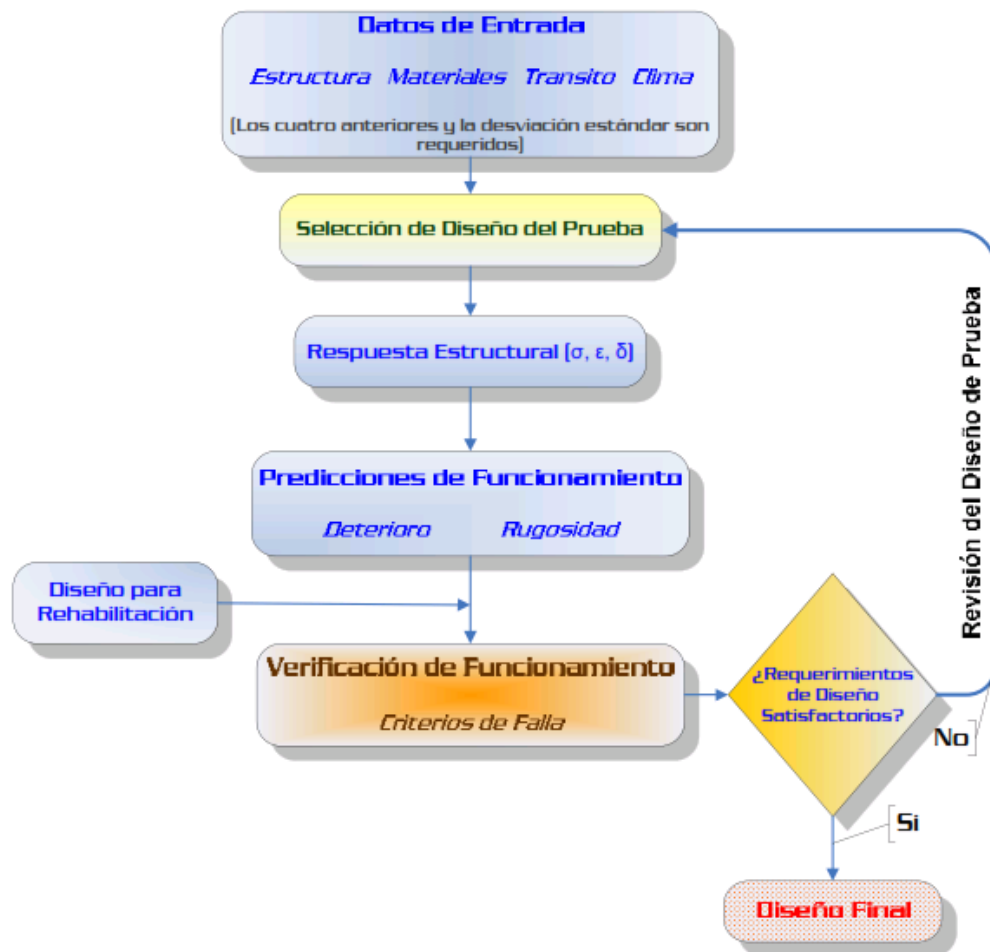


Fuente: Guía de Diseño Mecanicista – Empírico AASHTO 2008

El siguiente diagrama de flujo, forma la base para la mayoría de diseños mecanicista-empírico (ver **Figura N° 2.11**). No hay arreglos

de los componentes que existen en el proceso. Se enfatiza que la naturaleza iterativa del proceso de diseño es muy diferente de los procesos de diseño “paso a paso” basados en el cálculo de espesor de AASHTO. También se acentúa que los criterios del funcionamiento contra los cuales el diseño será comprobado se incorporarán al diagrama de flujo como entradas de datos.

**Figura N° 2.11. Diagrama de flujo del Diseño Mecánico-Empírico**



Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

#### **2.8.4.2. Descripción del proceso de diseño.**

La Guía de diseño de pavimentos empírico-mecanicista incorpora varias modificaciones en cuanto a su uso, empezando con la principal, la Guía no es una herramienta de diseño que nos proporcione espesores de la estructura como se venía realizando en anteriores metodologías, ahora es una herramienta de análisis del pavimento que nos proporciona una predicción del desempeño de la estructura a lo largo del periodo de diseño. Además incorpora el uso de un software el cual realiza el análisis del diseño que se ha previsto. Debido a que La Guía de diseño de pavimentos empírico-mecanicista es una herramienta de análisis, nos permite una interacción entre propiedades de los materiales, tráfico, condiciones ambientales y geometría del proyecto. El proceso emplea un nivel jerárquico, en donde se pueden seleccionar entre tres niveles de análisis de acuerdo a la confiabilidad de la información, los recursos disponibles para realizar el proyecto y la importancia del mismo que son los siguientes.

#### ***Jerarquía de los parámetros de diseño.***

***Nivel 1:*** Tiene un alto nivel de exactitud y por lo tanto deberían tener el más bajo nivel de incertidumbre o error. Utilizado para pavimentos de rutas muy importantes sometidas a un tránsito muy intenso y pesado, evita las fallas prematuras lo cual lleva a graves consecuencias económicas, los datos de entrada son:



- Módulo dinámico de mezclas de concreto asfáltico en caliente.
- Recolección de datos de espectros de carga (tránsito).
- Ensayos (in situ) no destructivos de deflexión.

La obtención de datos de este nivel requiere más recursos y tiempo que en los otros niveles.

**Nivel 2:** Tiene un nivel de exactitud medio y los datos deberían estar más cercanos a los procedimientos típicos usados con las ediciones previas de la Guía AASHTO, este nivel se debería usar cuando se disponga de recursos o cuando no se disponga del equipamiento para los ensayos requeridos en el Nivel 1, los datos de entrada son:

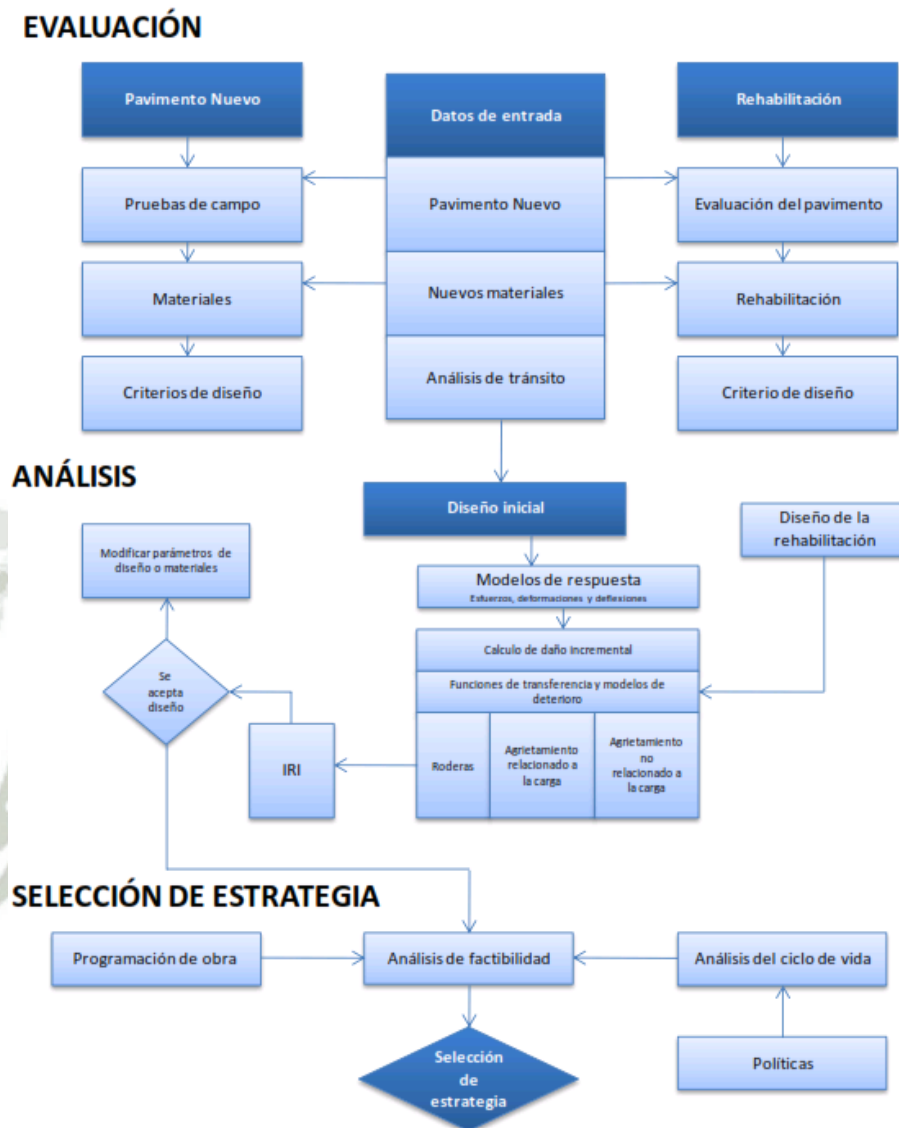
- Tomados de una base de datos de un organismo vial.
- Deducidos de un programa de ensayos limitados.
- Estimados a través de correlaciones conocidas.

**Nivel 3:** Tiene un nivel de exactitud mínimo, que se justifica cuando las consecuencias de una falla temprana son mínimas (Rutas sometidas a bajo tránsito). Los datos de entrada son:

- Seleccionados por el usuario o adopción de valores medios típicos para cada región.
- Los módulos resilientes de los materiales no ligados usados comúnmente por el organismo vial correspondiente.

**Se cuenta con la opción de trabajar con el nivel 3 de acuerdo a los datos que se tengan para el diseño.**

Figura N° 2.12. Diagrama de flujo conceptual de las tres etapas del proceso de Diseño/Análisis para el MEPDG.



Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

### 2.8.4.3. Valores de entrada para el diseño de pavimentos flexibles.

#### a. Información general (General Information).

- Nombre del proyecto y descripción.
- Vida de diseño (Design Life).

- Mes de construcción de base y subbase (Base/subgrade Construction Month).
- Mes de construcción de la capa asfáltica (Pavement Construction Month).
- Mes de apertura al tránsito (Traffic Open Month)
- Tipo de pavimento (Type of Design): Define si se realizara el diseño de un pavimento nuevo ya sea flexible o rigido.

***b. Identificación del proyecto (Site/Project Identification).***

- Ubicación del proyecto (location).
- Identificación del proyecto (Project ID).
- Identificación de la sección (Section ID).
- Formato en el que irán las progresivas (station/milepost format).
- Progresiva inicial (Station/milepost begin).
- Progresiva final (Station/milepost end).
- Dirección del tránsito (Traffic direction).

***c. Parámetros de análisis (Analysis Parameters).***

✓ **Criterio de comportamiento (Performance Criteria).**

- ***Confiabilidad:***

Para la ***Guía AASHTO 2008*** la confiabilidad R afecta a cada predicción de evolución de deterioro o IRI consideradas (no al tránsito como en el AASHTO 93).

Cada modelo de deterioro tiene su propia ecuación para predecir valores de SD (desviación estándar).

Para las distintas clases funcionales de carreteras se tienen diferentes niveles de confiabilidad:

**Tabla Nº 2.3 Niveles de confiabilidad para las distintas clases funcionales de Carreteras.**

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal/Autopistas	95	95
Arterias Principales	90	85
Colectores	80	75
Local	75	70

Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

- ***Fisuración de arriba hacia abajo – Agrietamiento Longitudinal (AC surface Down Cracking. Long. Cracking):***

Máxima longitud admisible de fisura longitudinal por milla de largo de pavimento dentro del periodo de diseño.

Los valores típicos admisibles son: 1000 pies/milla (190m/km).<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. Part 3, Chapter 3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

- ***Fisuración de abajo hacia arriba - piel de cocodrilo (AC Bottom Up Cracking - Alligator Cracking):***

Se define como el área máxima de fallas de piel de cocodrilo expresada como porcentaje del área total del carril que se permite que ocurra en el período de diseño. Los valores típicos admisibles son: 25 al 50% del total del área de trocha.

- ***Fisuración térmica (AC Thermal Fracture):***

Fisuras transversales que aparecen regularmente y cubren todo ancho de la calzada, es la máxima longitud de fisuras por milla a lo largo del periodo de diseño. Los valores típicos admisibles son: 1000 pies/milla (190 m/km).

- ***Fisuración por fatiga de capas estabilizadas químicamente (Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture):***

Se define en función de un índice de daño. Los valores típicos admisibles son: 25% del total del área de trocha. <sup>25</sup>

- ***Deformación permanente “Ahuellamiento” (Permanent Deformation):***

Se manifiesta como huellas dentro de la zona transitada por las ruedas de los vehículos, es la acumulación de la

---

<sup>25</sup> Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. Part 3, Chapter 3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

deformación permanente de la capa asfáltica, base, sub base no ligadas y subrasante. El valor típico admisible es: 0.75 pulg.

- ***Deformación permanente “Ahuellamiento” capa asfáltica (Permanent Deformation):***

En la deformación permanente solamente en la Carpeta Asfáltica el rango va de 0.3 a 0.5 pulg.<sup>26</sup>

**Tabla Nº 2.4. Resumen de criterios de comportamiento y deterioro admisible.**

<b>Criterios de Desempeño</b>	<b>Deterioro Admisible</b>
Fisuramiento Longitudinal (pie/milla):	1000
Fisuramiento por fatiga de abajo hacia arriba (%):	25
Deformación Permanente (Carpeta asfáltica) (pulg):	0.25
Deformación Permanente (Base granular) (pulg):	0.3
Deformación Permanente (Subrasante) (pulg):	0.2
Deformación Permanente (Totalidad) (pulg):	0.75

**Fuente: Elaboración propia basada en la Guía AASHTO 2008.**

- ❖ *El diseñador debe seleccionar alguno o todos estos indicadores de comportamiento y establecer criterios para evaluar un diseño y hacer modificaciones si es necesario. Los criterios de comportamiento para cada deterioro dependerán de la tolerancia de la institución encargada del diseño de la carretera para la cantidad de grietas sobre el período del diseño.*

<sup>26</sup> Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. Part 3, Chapter 3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

#### ***d. Tránsito.***

En el método AASHTO vigente, los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tráfico está compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes, y para los efectos de cálculo, se les transforma en un número equivalente de ejes tipo, de 80 kN ó 18 kips el cual se les denomina Ejes Equivalentes ó ESAL (equivalent simple axial load).

Los datos de tráfico son uno de los elementos claves requeridos para el análisis y diseño de estructuras de pavimento. La guía de diseño considera las cargas de tráfico vehicular en términos de espectros de carga por eje. Son considerados espectros completos de carga por eje simple, tándem, tridem y cuádruple.<sup>27</sup>

#### ✓ **Clasificación y definición de vehículos según la FHWA.**

El esquema de la FHWA (Federal Highway Administration) administración federal de carreteras, clasifica los vehículos de acuerdo al número de ejes y pesos de los vehículos, se adaptó la clasificación del MTC al esquema de la FHWA y se obtuvo la siguiente tabla:

---

<sup>27</sup> Traffic. Part 2, Chapter 4. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

**Tabla N° 2.5. Equivalencia entre categorías FHWA y MTC.**

CLASE	FHWA	MTC PERÚ
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, seis ejes.	C3R2 (3T2), C3R3 (3T3)
13	Camión o semi c/acoplado, 7 o más ejes	-

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Datos requeridos para la caracterización del tránsito.**

Se requieren cuatro tipos básicos de datos de tráfico para el diseño estructural de pavimento:

- Información del volumen del tránsito en el año base.
- Factores de ajuste del volumen de tránsito.
- Factores de distribución de carga por eje.
- Datos generales de tránsito.

**Información del volumen del tránsito en el año base.**

***Transito medio diario anual de vehículos pesados (camiones en ambas direcciones (AADTT = Average anual daily truck traffic):*** Es el volumen total de tránsito de camiones (clase 4 a 13 según la FHWA) en el flujo vehicular.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Traffic. Part 2, Chapter 4. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.



***Número de carriles en la dirección de diseño (Number of lanes in design direction):*** Es el número de carriles en la dirección de diseño.

***Porcentaje de camiones en la dirección de diseño (Percent of trucks in design direction), (D):*** Es usado para cuantificar alguna diferencia en el volumen total de vehículos en dos direcciones.

***Porcentaje de vehículos en el carril de diseño (Percent of trucks in design lane), (L):*** Es el informe para la distribución del tráfico de vehículos entre los carriles en una dirección.

***Velocidad operativa de los vehículos (Operational speed) (mph):*** Es una entrada importante para el diseño de pavimento flexible, ya que influye directamente en la respuesta de rigidez de la capa asfáltica dentro de la estructura del pavimento.

29

**Factores de ajuste del volumen de tránsito (Traffic Volume Adjustment):**

***Factores de ajuste mensual MAF (monthly adjustment factors):*** Simplemente representa la proporción anual del tránsito

---

<sup>29</sup> Traffic. Part 2, Chapter 4. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

de vehículos para la composición vehicular dada, que ocurre en un mes específico.

***Distribución por clase de vehículo (Vehicle Class Distribution):*** Representa el porcentaje de cada clase de vehículo (clase 4 a 13) en el TPDA para el año base.

***Factores de distribución horaria (Hourly Distribution) HDF:*** Representan el porcentaje de los TPDA en cada hora del día .

***Factores de crecimiento de tránsito (Traffic Growth***

***Factors):*** Se pueden utilizar 3 funciones de crecimiento de tránsito, sin crecimiento, crecimiento lineal y crecimiento compuesto.

**Factores de distribución de carga por eje (Axle load distribution factor).**

Representan el porcentaje de las aplicaciones totales dentro de un intervalo de cargas ya sean ejes simples, tándem, tridem o quad) para cada clase de vehículo (clase 4 a 13 según la FHWA).

- *Ejes simples: de 3000 a 41000 lb, c/intervalos de 1000 lb.*
- *Ejes tándem: de 6000 a 82000 lb, c/intervalos de 2000 lb.*
- *Ejes tridem y quad: de 12000 a 102000 lb, c/intervalos de 3000lb<sup>30</sup>.*

---

<sup>30</sup> Traffic. Part 2, Chapter 4. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

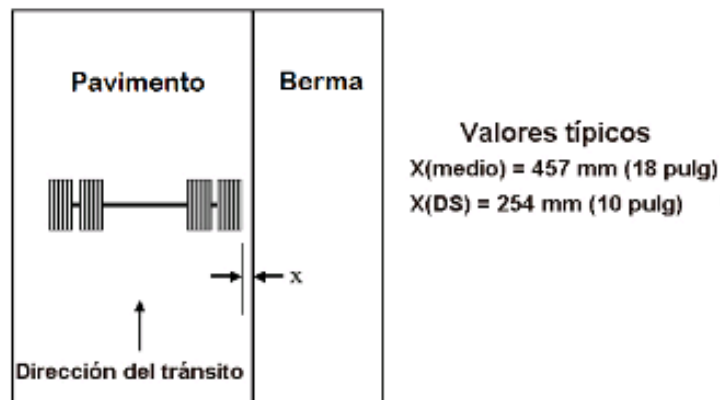
**Datos generales de tránsito (General traffic inputs):**

***Ubicación media de las ruedas (Mean Wheel location), pulg:***

Es la distancia entre el borde externo de la rueda al borde externo del pavimento.

***Desviación estándar de la deriva del tránsito (Traffic wander standard deviation), pulg:*** La deriva del tránsito se usa para determinar el número de aplicaciones de carga por eje sobre un punto dado para predecir los deterioros y el comportamiento del pavimento.

**Figura N° 2.13. Valores típicos para la medida de las ruedas**



Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

***Ancho de Carril (Desing lane width), pies:*** Se refiere al ancho real del carril utilizado por el tránsito. Se define como la distancia entre las marcas limitantes de carriles.

Figura N° 2.14. Ancho del carril.



Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

**Número de ejes por tipo y clase de camión (Number**

**Axles/Truck):** Es el número promedio de ejes por cada clase de camión (clase 4 a 13) para cada tipo de eje (simple, tándem, trídem y quad), se trabajan con los valores de acuerdo al MTC y el nivel en el que se ingresan los datos es el nivel 3.

**Configuración de los ejes (Axle Configuration):**

- **Ancho promedio del eje (Average axle width), pies:** Es la distancia entre dos bordes exteriores de un eje. Para los vehículos típicos, se pueden asumir para el ancho del eje 8.5 pies.
- **El espacio entre ruedas duales (Dual tire spacing) pulg:** Es la distancia entre los centros de llantas dobles. El espaciamiento típico de llantas dobles para los vehículos es 12 pulg.
- **Presión de los neumáticos (Tire pressure), psi = lb/pulg<sup>2</sup>:** La presión de los neumáticos se debe introducir

para los neumáticos, tanto simple y dual. El valor adoptado por defecto es de 120psi.

- ***El espacio entre ejes (Axle spacing) pulg:*** Es la distancia entre dos ejes consecutivos que conforman un eje tándem, trídem o quad. En promedio, esta distancia es de 51.6 pulg (1.31 m) para ejes tándem y de 49.2 pulg (1.25 m) para ejes trídem o quad.

***Distancia entre ejes (Wheelbase):***

- ***Distancia media entre ejes delantero y trasero (Average axle) pies:*** Considerando vehículos cortos, medianos y largos, con una separación media entre ejes de 12 pies (3.65m), 15 pies (4.60 m) y 18 pies (5.50 m) respectivamente.
- ***Porcentaje de camiones (Percent of trucks) (%):*** Entonces se define qué porcentaje de estos camiones de clase 8 a la 13 cuentan con la separación corta, mediana.

***e. Clima.***

Las condiciones ambientales tienen un efecto significativo en el comportamiento de los pavimentos flexibles. La interacción de los factores climáticos con los materiales de pavimento y las cargas que éste soporta es bastante complejo. Los factores tales como precipitación, temperatura, ciclos de hielo-deshielo (no aplicables en nuestro país) y la profundidad del nivel freático afectan al pavimento,

a la temperatura de la subrasante y al contenido de humedad el cual, en forma alterna, afecta directamente la capacidad de soportar cargas a las capas de pavimento y al comportamiento del mismo.

Para la elaboración del presente proyecto de tesis se creó una estación ficticia con los datos climáticos de la ciudad de Arequipa, para la obtención de los archivos climáticos .icm se utilizaron los registros de la base de dato que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología “SENAMHI” ofrece. La información climática suministrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de nuestro país en comparación con la base de datos de cerca de 851 estaciones meteorológicas que presenta Estados Unidos es muy rudimentaria.

Para la confección de esta estación climática ficticia el número mínimo de datos requeridos para crearla son de 24 meses (2 años).

***f. Estructura del pavimento (Structure).***

Los valores de entrada para las propiedades de la estructura de pavimento son organizados en las siguientes categorías:

✓ **Absorción de onda corta en la superficie del pavimento**  
**(Surface short-wave absorptivity):**

Depende de la composición, color y textura del pavimento. La absorbencia es la relación de la cantidad de energía solar absorbida

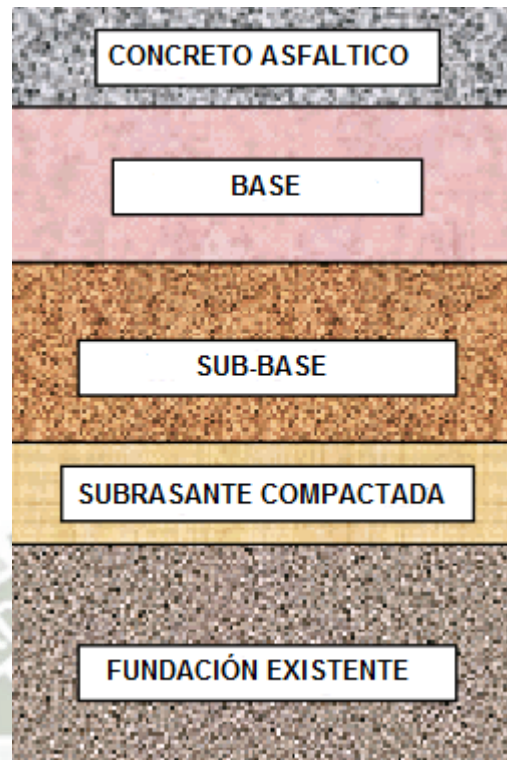
por la superficie del pavimento del total de energía que fue expuesta en la superficie, el cual afecta naturalmente la temperatura en la estructura del pavimento y a la respuesta estructural asociada. Los rangos de valores para entrada van de 0 a 1.

Generalmente la superficie más iluminada y reflexiva será la de más baja absorberencia. Para el Nivel 1, este valor debe ser determinado a través de pruebas directas. Los rangos de valores para asfalto viejo van de 0.8 a 0.9 y para asfalto fresco van de 0.9 a 0.98.

✓ **Propiedades de las Capas (Layers Properties):**

Se ingresan las capas de la estructura del pavimento (Asfalto, Base granular, Sub base y sub rasante) cada capa con su tipo de material y espesor.

Figura N° 2.15. Sistema de capas de estructura del pavimento



Fuente: Guía de Diseño Mecánico – Empírico AASHTO 2008

✓ **Concreto Asfáltico (Asphalt concrete):**

Hay que considerar las propiedades de todos sus componentes ya que el concreto asfáltico es muy sensible a la temperatura y tiempo de aplicación de cargas.<sup>31</sup>

- ***Gradación del agregado (Aggregate Gradation)***
- ***Propiedades del Ligante Asfáltico (Asphalt binder).***

Permite al usuario proporcionar insumos respecto a las propiedades aglutinantes del asfalto, con el fin del determina

<sup>31</sup> Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. Part 3, Chapter 3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.



por completo la curva maestra del módulo dinámico y modulo del ligante asfáltico. Grado de penetración 85-100.

- ***Asfalto en General (Asphalt general).***

Esta entrada de datos le permite al usuario proporcionar las propiedades del concreto asfáltico en función a la temperatura, la frecuencia de las características de carga, la edad, rigidez de la mezcla, granulometría, contenido de liante, relación de vacíos, algunos de los mencionados se ingresan en esta ventana.

➤ *General:*

- Temperatura de referencia (Reference temperatura) °F:  
Es la temperatura que se utiliza como la referencial al derivar el módulo dinámico. En general se adopta 70°F (21°C).

➤ *Propiedades volumétricas en la construcción (Volumetric properties as built):*

- Contenido del liante efectivo (Effective binder content)
- Vacíos de aire (Air voids) %.
- Peso unitario total (total unit weight) pcf – pound cubic feet (libra sobre pie cubico).

➤ *Coefficiente de Poisson (Poisson's ratio).*

La relación de Poisson para materiales bituminosos oscila normalmente entre 0.15 y 0.50 y está en función a la

temperatura. Ya que nuestra temperatura de referencia es 70°F el coeficiente de Poisson será de 0.35.

➤ *Propiedades térmicas (Thermal properties):*

- Conductividad térmica del asfalto “K” (Thermal conductivity asphalt) BTU/hr-ft-°F. El valor usado será 0.63 BTU/hora-pie-°F.
- Capacidad de calor del asfalto (Heat capacity asphalt) BTU/lb-°F. El valor usado será de 0.23 BTU/lb-°F.

✓ **Capa de Base no liga/subbase/subrasante (Unbound Layer)**

Las principales entradas requeridas para base/subbase no ligadas y capas de subrasante son:

- **Espesor de capa (solamente para capa de base y subbase).**- Si para capas de subrasante de limo estabilizado (no modificado) ó compactado necesitan ser considerados separadamente de la subrasante natural, pueden ser definidos como una capa estructural.
- **Módulo Resiliente.**- Es una propiedad del material que describe el comportamiento del suelo que se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico.
- El módulo resiliente puede ser medido directamente de laboratorio u obtenido a través del uso de correlaciones de

otras propiedades de resistencia de materiales tales como el **CBR**.

**Tabla N° 2.6. Modelos relacionados al índice de materiales y propiedades de resistencia para Mr.**

Propiedad resistencia/índice	Modelo	Comentarios	Prueba estándar
CBR	$M_R = 2555(CBR)^{0.64}$ M <sub>R</sub> en psi.	CBR=Relación de soporte de california, porcentaje.	AASHTO T 193, "Relación de soporte de California".
Valor R.	$M_R = 1155 + 555R$ M <sub>R</sub> en psi.	R= Valor R	AASHTO T 190, "Resistencia del valor R y presión de expansión de suelos compactados".
Coefficiente de capa AASHTO.	$M_R = 30000 \left( \frac{a_i}{0.14} \right)$ M <sub>R</sub> en psi.	a <sub>i</sub> : Coeficiente de capa de AASHTO.	Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO.
PI y gradación*.	$CBR = \frac{75}{1 + 0.728(wPI)}$	wPI=P200xPI. P200=Porcentaje que pasa la malla No. 200. PI= Índice de plasticidad, porcentaje.	AASHTO T 27, "Análisis de mallas para agregado grueso y fino". AASHTO T 90, "Determinación del límite plástico y el índice plástico del suelo".
DCP*.	$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$	CBR=Relación de soporte de California, porcentaje. DCP= Índice DCP, m/soplos	ASTM D 6951, "Método de prueba estándar para el uso del penetrómetro de cono dinámico en aplicaciones de pavimento poco profundas".

**Fuente: ICG, Guía de Diseño Mecánico – Empírico de Pavimentos – Manual Práctico (2008)**

- **Coeficiente de Poisson.-** Usado para caracterizar el comportamiento de las capas en el modelo específico. Valor típico  $\mu = 0.35$

- **Coeficiente de empuje en reposo o de presión lateral de la tierra.**- El coeficiente de presión ( $k_0$ ), es el término usado para expresar la relación de la presión lateral y la presión vertical de la tierra. Para materiales granulares compactados se toma  $k_0 = 0.5$

✓ **Fisuramiento Térmico (Thermal Cracking):**

Las propiedades del concreto asfáltico que se utilizan para predecir el fisuramiento térmico son:

- *Superficie de onda corta* – capacidad de absorción.
- *Conductividad térmica y capacidad calorífica.*
- *Resistencia media a la tracción.*
- *Deformación por fluencia (Creep compliance).*
- *Coeficiente de contracción térmica.*

❖ **Resistencia media a la deformación (Average Tensile Strength):** Parámetro de fuerza que indica la resistencia a la tracción del material sometido a una prueba de resistencia a una temperatura de 14°F, de acuerdo a la Guía AASHTO 2008 para PEN 85-100 el valor es 444psi.

❖ **Creep compliance:** Es la deformación irrecuperable de un material visco-elástico sometido a un ensayo de resistencia a la tracción, a diferentes temperaturas (-4, 14 y 32°F) y periodos de tiempo. Se trabaja con el tipo de aglutinante PEN 85-100 y los datos

recomendados están en 1/GPa que debes estar en unidades inglesas 1/PSI (1/(lb/pulg<sup>2</sup>)), como muestra la siguiente **Tabla N° 2.7:**

**Tabla N° 2.7. Datos de ingreso Creep Compliance.**

Tiempo (seg.)	PEN 85-100					
	Creep Compliance (1/GPa)			Creep Compliance (1/PSI)		
	-4°F	14°F	32°F	-4°F	14°F	32°F
1	0.041	0.060	0.077	2.83E-07	4.14E-07	5.31E-07
2	0.043	0.061	0.090	2.96E-07	4.21E-07	6.21E-07
5	0.048	0.076	0.113	3.31E-07	5.24E-07	7.79E-07
10	0.049	0.085	0.127	3.38E-07	5.86E-07	8.76E-07
20	0.053	0.094	0.152	3.65E-07	6.48E-07	1.05E-06
50	0.055	0.116	0.197	3.79E-07	8.00E-07	1.36E-06
100	0.058	0.132	0.246	4.00E-07	9.10E-07	1.70E-06

Fuente: ICG, Guía de Diseño Mecánico – Empírico de Pavimentos – Manual Práctico (2008)

**- Coeficiente de contracción térmica (Coefficient of thermal**

**contraction):** Es una entrada importante para determinar el potencial de la Fisuración térmica de la capa de asfalto, mide la extensión de la contracción del material que se experimenta con la disminución de los niveles de temperatura.

No hay pruebas estándar AASHTO o ASTM para determinar este coeficiente para materiales asfálticos. La guía de diseño calcula este coeficiente internamente utilizando las propiedades volumétricas del asfalto tales como los VMA (vacíos del agregado mineral) y del coeficiente de contracción térmica de los agregados.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Design of New and Reconstructed Flexible Pavements. Part 3, Chapter 3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP, March 2004.

### ***g. Interpretación y análisis de resultado del diseño de prueba***

El MEPDG predice el desempeño del diseño de prueba en términos de tipos de deterioro relevantes y la regularidad superficial a una confiabilidad especificada.

El resumen contiene una hoja resumen de la entrada de datos, valores de los módulos de los materiales calculados, resumen de deterioros para todas las predicciones de deterioro un formato de tabla. Más adelante, los deterioros pronosticados son presentados en formato gráfico. También presenta un resumen de confiabilidad donde muestra los criterios de comportamiento con su respectiva confiabilidad y permite verificar si se han cumplido o han fallado de acuerdo a lo estimado en el diseño.

#### **- Resumen de los Datos de entrada.**

Aquí se encuentra un resumen de todos los datos ingresados al programa desde los parámetros de análisis, hasta las características de cada una de las capas de la estructura del pavimento, incluyendo los parámetros calculados o derivados para las propiedades de la base y la sub rasante.

#### **- Confiabilidad del diseño de prueba**

Otro resultado importante es una evaluación de la confiabilidad de diseño. Si la confiabilidad predicha es mayor que la confiabilidad

especificada, entonces el pavimento cumple. Si ocurre lo contrario, entonces el pavimento falla. Si algún deterioro relevante de transferencia falla, se tendrá que modificar el diseño de prueba para corregir el problema.

- **Deterioro predicho.**

Donde se encuentran los daños predichos por el programa, numero acumulado de camiones pesados e IRI total y afectado por la confiabilidad para cada mes de los años de vida del pavimento.

- **Resultados de los cálculos del módulo dinámico.**

Para cada capa que se presenta en la estructura del pavimento (Carpeta asfáltica, base y subrasante), graficando los módulos dinámicos para cada año de vida del pavimento.

- **Valores pronosticados de desempeño**

El MEPDG produce mes a mes los tipos de deterioro principales de transferencia y regularidad superficial durante el periodo de diseño. Se necesita examinar cuidadosamente para ver si parecen razonables y si cumplen también con los criterios de desempeño especificados.

***Predicción detallada del Agrietamiento longitudinal por***

***fatiga.-*** Agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo en las huellas del neumático. Un valor crítico se alcanza cuando el

agrietamiento longitudinal se acelera y comienza a requerir reparaciones importantes y cierre de carriles.

***Predicción detallada del Agrietamiento piel de cocodrilo por***

***fatiga.-*** Agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba en las huellas del neumático. Un valor crítico se alcanza cuando las fisuras de piel de cocodrilo se aceleran y empiezan a requerir reparaciones importantes y cierre de carriles.

***Predicción detallada del Agrietamiento transversal.-*** Causado por bajas temperaturas que resultan en fracturas transversalmente a los carriles de tránsito. Un valor crítico se alcanza cuando el agrietamiento transversal resulta en una rugosidad significativa.

***Predicción detallada del Ahuellamiento o deformación***

***permanente.-*** El ahuellamiento de la mezcla asfáltica en caliente es solo en las capas de asfalto ligadas y el ahuellamiento total combina todas las capas del pavimento y la subrasante. Se alcanza un valor crítico cuando el ahuellamiento es de tal magnitud que afecte la seguridad.



- **Aceptabilidad del diseño de prueba.**

Mientras que el espesor de la capa es importante, muchos otros factores de diseño también afectan a la falla. El diseñador necesita examinar la predicción del desempeño y determinar que características de diseño se deben modificar para mejorar el desempeño (por ejemplo, el espesor de la capa, las propiedades de los materiales, combinación de capas, características geométricas y otros datos de entrada).



## CAPITULO III: MUESTREO Y ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA

### 3.1. DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA LA EVALUACION.

Este trabajo de tesis abarca las actividades de evaluación de pavimento, las que se realizaron mediante métodos No Destructivos y Destructivos, con la finalidad de determinar la capacidad estructural de la vía y su comportamiento frente a las sollicitaciones del tráfico.

En la evaluación de la *Avenida Hartley* puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

#### Unidad de muestreo

Se utilizó la metodología PCI, en donde el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la **Ecuación N° 3.1**.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

**n**: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

**N**: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

**e**: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (confiabilidad 95% e = 5%)

**$\sigma$** : Desviación estándar del PCI entre las unidades. Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar del PCI de 10 para pavimento asfáltico.

Se ha adoptado una longitud de muestra de 30.00m, debido a que el ancho promedio de calzada es de 6.80m. Esto da un área de 204.00 m<sup>2</sup>, la cual encaja en los valores normados.

Para el número total de muestras, resulta de dividir la longitud total de la vía entre la longitud de la muestra:

$$N = \frac{1000}{30} = 33.33 \approx 33$$

Aplicando la ecuación 3.1, se calcula las unidades a ser evaluadas, se adoptará un error e = 5% y una desviación estándar de 10, debido a que esta es la primera evaluación que se realiza. De modo que tenemos

$$n = \frac{33 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (33 - 1) + 10^2}$$

$$n = 11$$

Esto quiere decir, que de las 33 unidades de muestreo, 11 de estas deberán ser evaluadas de acuerdo a la **Tabla 3.1**.

**Tabla N° 3.1. Unidades de muestreo por progresiva**

UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA (KM)
UNIDAD N° 1	0+045 @ 0+075
UNIDAD N° 2	0+130 @ 0+160
UNIDAD N° 3	0+220 @ 0+250
UNIDAD N° 4	0+310 @ 0+340
UNIDAD N° 5	0+420 @ 0+450
UNIDAD N° 6	0+510 @ 0+540
UNIDAD N° 7	0+600 @ 0+630
UNIDAD N° 8	0+690 @ 0+720
UNIDAD N° 9	0+780 @ 0+810
UNIDAD N° 10	0+870 @ 0+900
UNIDAD N° 11	0+960 @ 0+990

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. EVALUACIÓN 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.

La evaluación estructural del pavimento consiste, básicamente, en determinar la capacidad soporte del sistema pavimento – subrasante, en cualquier momento de su vida de servicio.

Se planificaron los trabajos de evaluación de los materiales que componen la superficie de rodadura y subrasante, trabajos que se realizaron de la siguiente manera:

#### 3.2.1. ESPESOR DE CAPAS

Preliminarmente en todo diseño de una estructura de pavimento se requiere el conocimiento básico de las características y resistencias o capacidades soportantes del suelo.

Se hizo registro del número de muestra, su ubicación y el espesor de la carpeta asfáltica, base y subrasante, teniendo los siguientes resultados

**Tabla N° 3.2. Espesor de capas de estructura de pavimento**

Muestra	Ubicación	Espesor (cm.)	
		Carpeta Asfáltica	Base
C-1	Km 0+020	5.5	25
C-2	Km 0+800	5.5	25

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.2. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

**Granulometría por tamizado para suelos.-** Este ensayo consiste en la clasificación del terreno natural para compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88.

**Límites de Atterberg.-** Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, en este caso su consistencia con respecto al contenido de humedad. A estos contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D 4318/ AASTHO T 89:

Los datos obtenidos, la descripción de las muestras y las curvas granulométricas se encuentran en el **Anexo 3.1.**

**Tabla N° 3.3. Resumen de análisis granulométrico de material existente.**

CALICATA	C-1 (Carril Derecho)			C-2 (Carril Izquierdo)		
MUESTRA	BASE	SUBRASANTE COMPACTADA	SUBRASANTE NATURAL	BASE	SUBRASANTE COMPACTADA	SUBRASANTE NATURAL
IDENTIFICACIÓN	M1	M2	M3	M1	M2	M3
CONTENIDO DE HUMEDAD	3.60%	5.30%	11.70%	3.10%	5.00%	5.50%
% PIEDRA (RET. N°4)	33.10	18.10	15.30	32.00	9.80	11.80
% ARENA (PASA N°4 y RET. N°200)	51.00	60.00	61.30	55.70	62.90	64.00
% FINOS (PASA N°200)	15.90	21.90	23.40	12.30	27.30	24.20
COEFICIENTE Cu	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COEFICIENTE Cc	5.185	1.663	2.035	5.721	1.263	1.706
LÍMITE LÍQUIDO (%)	23.80	23.60	22.10	20.70	22.10	21.50
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CLASIFICACIÓN SUCS	SM	SM	SM	SM	SM	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

El Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección Suelos y Pavimentos del MTC nos indica que los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS.

La clasificación de suelos según la AASHTO se utiliza en vías, y la clasificación de suelos según SUCS se utiliza para cimentaciones

### 3.2.3. ENSAYO DE COMPACTACIÓN

En este ensayo se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad.

Existen dos tipos de ensayo Próctor normalizados: Ensayo Próctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99 y el Ensayo Próctor Modificado, de acuerdo con las normas ASTM D 1557 / AASTHO T 180. La diferencia entre ambos ensayos radica en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Próctor Modificado.

*Para la muestra de la Subrasante, se utilizó el **Método A** ya que menos del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4, mientras que para la muestra de la Base se utilizó el Método C ya que más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8” y menos del 30% del peso del material es retenido en el tamiz 3/4”.*

Este ensayo se realizó utilizando ensayo de Próctor Modificado

Los datos obtenidos en el ensayo se encuentran en el **Anexo 3.2.**

**Tabla N° 3.4 Resumen de ensayo de compactación utilizando energía modificada**

CALICATA	C-1 (Carril Derecho)			C-2 (Carril Izquierdo)		
	MUESTRA	BASE	SUBRASANTE COMPACTADA	SUBRASANTE NATURAL	BASE	SUBRASANTE COMPACTADA
IDENTIFICACIÓN	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
METODO DE COMPACTACIÓN	C	A	A	C	A	A
MÁXIMA DENSIDAD SECA (MDS) gr/cm <sup>3</sup>	1.899	1.841	1.801	1.854	1.768	1.703
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (OCH)	9.30%	12.40%	12.40%	9.30%	12.70%	13.70%
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS	2.479	2.481	2.485	2.489	2.455	2.398

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Determina la capacidad soportante del suelo (Relación de Soporte de California, por sus siglas en Ingles), de acuerdo con las normas ASTM D 1883 / AASHTO T 193, en el cual se mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (subrasante), sub base y/o base granular de un pavimento, bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Los datos obtenidos en el ensayo y los gráficos se encuentran en el **Anexo 3.3.**

**Tabla N° 3.5. Resumen de ensayo de CBR.**

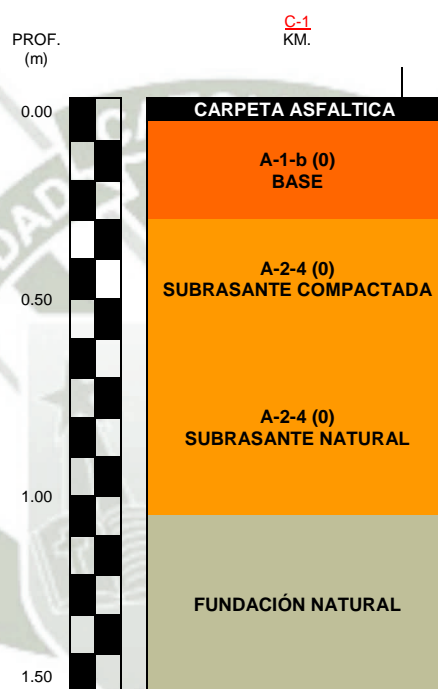
CALICATA	C-1 (Carril Derecho)				C-2 (Carril Izquierdo)			
	BASE		SUBRASANTE		BASE		SUBRASANTE	
PENETRACIÓN	2.54 mm	5.08 mm	2.54 mm	5.08 mm	2.54 mm	5.08 mm	2.54 mm	5.08 mm
CBR AL 100% DE LA MDS	102.9%	102.6%	50.2%	70.0%	101.5%	104.7%	66.3%	83.9%
CBR AL 95% DE LA MDS	60.9%	66.6%	35.4%	45.3%	52.5%	55.6%	46.5%	57.3%

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.5. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Se obtiene un perfil estratigráfico para el tramo en estudio. Los suelos encontrados son descritos y clasificados, prioritariamente la clasificación será AASHTO y complementariamente la clasificación SUCS y en base a los datos obtenidos se realizó un registro de calicatas que se encuentran en el **Anexo 3.4**.

**Figura N° 3.1 Perfil Estratigráfico**



**Según los ensayos realizados se concluye lo siguiente:**

**Subrasante:** Material de calidad regular a buena. Su principal característica según su funcionalidad como capa estructural es el valor de CBR mas critico de 35.4 %.

**Base:** El material presente en las calicatas es de pobre calidad, su granulométrica encaja en los parámetros normados (gradación D), pero su valor de Relación de Soporte CBR crítico de 52.5% no alcanza los niveles mínimos exigidos para capa estructural de Base.



### 3.2.6. LAVADO ASFALTICO

Este ensayo nos permite la determinación cuantitativa del asfalto, los agregados obtenidos pueden emplearse para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de las mezclas asfálticas libres de humedad. El ensayo se realizó de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88 y MTC E 502-2000 “Extracción Cuantitativa De Asfalto En Mezclas Para Pavimentos”.

**Tabla N° 3.6 Resultado de Contenido de Asfalto.**

IDENTIFICACIÓN	M1	UNIDAD
PESO INICIAL MUESTRA	1523.90	gr.
PESO FINAL MUESTRA CENTRIFUGADA	1432.20	gr.
PESO INICIAL DEL FILTRO	13.40	gr.
PESO FINAL DEL FILTRO	15.80	gr.
<b>CONTENIDO DE ASFALTO*</b>	<b>5.86%</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración Propia

\* Contenido de cemento asfáltico deberá ser superior a 5.5%.

### 3.2.7. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO DE LA MEZCLA ASFALTICA.

Este método es usado para determinar la gradación de los agregados extraídos de la mezcla asfáltica..

- Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/4”: 3.13%
- Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/8”: 14.18%
- Porcentaje Retenido Acumulado malla N°4: 31.86%
- Porcentaje Pasante Acumulado malla N° 200: 6.92%

Los datos obtenidos y las curvas granulométricas se encuentran en el

**Anexo 3.5.**

### 3.3. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA

#### 3.3.1. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO: MÉTODO PCI - ASTM D-6433-03

Se evalúa la condición del pavimento con el formato del PCI (**Figura N° 3.2**), el cual nos identifica las diferentes fallas y se definen su severidad, siendo estas también cuantificadas y hallando también el porcentaje según el área de muestreo por cada unidad de muestreo.

**Figura N° 3.2 Formato para calificación del pavimento PCI.**

FORMULARIO																	
EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA																	
MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO																	
CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433																	
SECCION 0+000 A 1+000	PROGRESIVA INICIAL km 00+045	UNIDAD DE MUESTREO 1															
CARRIL Ambos	PROGRESIVA FINAL km 00+075	AREA DE MUESTREO 204 m2															
INSPECCIONADO POR Bach. Ing. Harold Meza Palomino	FECHA 16 de diciembre de 2016																
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos															
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea															
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento															
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversales	16. Desplazamiento															
5. Corrugación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica															
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento															
		19. Desprendimiento de agregados															
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD	TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN												
1	L	4.6	4.60	2.3%	19.00												
1	M	13	13.00	6.4%	43.00												
11	M	6.4	6.40	3.1%	18.00												
3	M	10.8	10.80	5.3%	14.00												
					PCI	46											

Fuente: Elaboración propia.

#### ➤ **Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo**

La metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) , a través de la recopilación del estado de deterioro del mismo nos permite establecer los parámetros que reflejen el comportamiento funcional de la estructura del pavimento.

El deterioro de la estructura del pavimento se determina en función de la **clase de daño, su severidad y cantidad o densidad** del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemático. Para superar esta dificultad el método ha introducido “valores deducidos”, como un modelo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

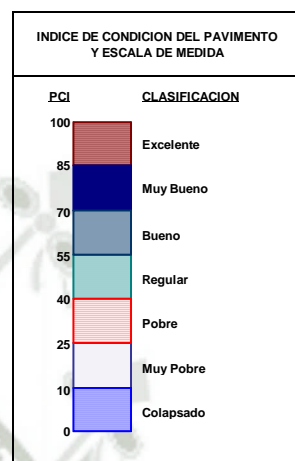
En esta evaluación vamos a utilizar la aplicación del Sistema de gestión de base de datos – **EvalPav** - para la evaluación de la condición superficial en el área de mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de pavimentos, que permite optimizar la recopilación de datos de campo, procesamiento de la información en menor tiempo, calidad y grado de confiabilidad para facilitar el análisis mediante la interpretación de resultados y la proposición de alternativas de solución en el tiempo.

La operatividad para el mantenimiento, consulta e impresión de datos es sencilla, lo que permite un aprendizaje rápido, facilidad en el registro de los datos, actualización automática de la información, donde el usuario solo debe concentrarse en el ingreso de datos.

La aplicación nos da las Hoja de Datos de las Unidades por cada Muestra que se encuentran en el **Anexo 3.6** y el resumen del análisis es el siguiente **Tabla N 3.7.:**

**Tabla N° 3.7. Resumen valores PCI**

EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA								
MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL INDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433								
RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO								
TRAMO AV. HARTLEY: km 0+000 A km 1+000 / CARRIL: Ambos								
N°	AREA (m2)	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA		m	MAXIMO VDC	PCI	CLASIFICACION
			INICIAL	FINAL				
1	204	001	00+045	00+075	6.2	54.0	46.0	Regular
2	204	002	00+130	00+160	5.5	70.0	30.0	Pobre
3	204	003	00+220	00+250	4.7	70.0	30.0	Pobre
4	204	004	00+310	00+340	5.3	80.0	20.0	Muy Pobre
5	204	005	00+420	00+450	6.6	63.0	37.0	Pobre
6	204	006	00+510	00+540	3.9	88.0	12.0	Muy Pobre
7	204	007	00+600	00+630	4.5	85.0	15.0	Muy Pobre
8	204	008	00+690	00+720	5.4	73.0	27.0	Pobre
9	204	009	00+780	00+810	5.3	61.0	39.0	Pobre
10	204	010	00+870	00+900	6.8	63.0	37.0	Pobre
11	204	011	00+960	00+990	5.4	88.0	12.0	Muy Pobre
PROMEDIO							28	Pobre



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO: DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.

El tramo de evaluación está comprendida entre las progresiva 0+000 (cruce av. Hartley y av. Pizarro) y la progresiva 0+998 Km (cruce Av. Hartley y av. Dolores).

En este tramo, entre los meses de febrero y abril del año 2015, se han realizado trabajos de mantenimiento y rehabilitación, ya que la vía en mención se deterioró a inicios de febrero producto de la falta de mantenimiento desde hace más de 5 años y la presencia de lluvias que afloraron las deficiencias en la carpeta asfáltica.

### a. Medición De Deflexiones Con La Viga Benkelman

Para la medición de deflexiones, se delimitó la vía, marcando el carril mediante una línea transversal en su extremo derecho cada 50 m. sobre la vía.

Para la evaluación de esta vía, se requirió de lo siguiente:

- ✓ Una Viga Benkelman marca Pinzuar – modelo PA-74 con su respectivo extensómetro con dial TYPE JO8 indicador de divisiones cada 0.01 mm, con una relación de brazos 1:4. Longitud de brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba 2.440 m. y 2.190 m.

Longitud del brazo de ensayo, desde el pivote hasta el punto del contacto con el vástago del dial registrador 610 y 548 mm.

- ✓ Un camión con las siguientes características:

El eje trasero simple con una carga de 8400 kilogramos, igualmente distribuidas en sus dos ruedas duales y equipado con cámaras neumáticas.

La presión de inflado de las llantas de 80 libras por pulgada cuadrada, que está dentro del rango de 75 a 85 psi. Las cubiertas de la llanta de 10" x 20" de 18 lonas, infladas a la presión indicada y en buen estado

La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambos neumáticos de cada rueda dual es de 32 cm.

- ✓ Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.

- ✓ Medidor de presión de llanta.
- ✓ Un termómetro de 0 a 100°C con divisiones cada grado.
- ✓ Un cincel y combo para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm. de profundidad y 1 cm. de diámetro.
- ✓ Un odómetro de 1000 metros.
- ✓ Elementos de protección y señalización de tránsito.

Los detalles de los aparatos y materiales para la medición con la viga Benkelman se encuentran en el **Anexo 3.7**

**b. Posicionamiento en el Borde del Pavimento y colocación en el eje del neumático**

El punto del pavimento ensayado, se marcó convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea está el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde.

Se hizo la medición en un solo carril el derecho, cada 50 metros hasta llegar a la progresiva 1+000.00 de la vía.

Se utilizó las distancias recomendadas por el MTC, indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla N° 3.8. Distancia al borde del pavimento según el ancho de carril.**

ANCHO DE CARRIL	DISTANCIA DEL PUNTO DE ENSAYO DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO
2.70 m	0.45 m.
3.00 m	0.60 m.
3.30 m	0.75 m.
3.60 m o más	0.90 m.

**Fuente: Elaboración propia.**

**Foto. 3.1 Distancia al borde del pavimento según el ancho de carril de 0.90 m.**



Se coloca la viga Benkelman sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del brazo móvil coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las cubiertas de las llantas de la rueda dual

**Foto. 3.2 Posicionamiento de viga al eje de las ruedas del camión**



### c. Toma de temperaturas.

Con el termómetro se tomo las diferentes temperaturas en el aire y en el pavimento, las del pavimento fueron en cada progresiva ensayada. Se hizo un pequeño agujero al pavimento con un pequeño clavo y enseguida se colocaba el termómetro en el pavimento dejándolo aproximadamente 30 seg, hasta que alcanzar su mayor temperatura.

**Foto 3.3 Agujero en el pavimento para colocación de termómetro**



**Foto 3.4 Medición de temperatura del pavimento.**





#### d. Lectura de diales

Tomando como punto de referencia la varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones, así ya la viga posicionada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión, se procede a colocar el extensiómetro en cero, y después a activar el zumbador

Como norma se realiza marca adicional a una distancia de 25 cm. para la deflexión que servirá para el cálculo del radio de curvatura. Seguidamente se realiza a los 50, 75 y 100 pudiendo variar estas últimas, los cuales ayudaran a un mejor análisis.

**Foto 3.5 se hace coincidir la varilla con la marca indicada en la Viga.**



Foto 3.6 se activa el zumbador y se coloca el extensómetro en cero.



Foto 3.7 se comienza a desplazar el camión a una velocidad de 3Km/h es ahí que uno dicta las lecturas y el otro las anota.



Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión procediéndose a tomar las lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera, segunda y demás marcas adicionales, y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo hasta una distancia de 4 a 5 mt aproximadamente en que el indicador del dial ya no tenga movimiento

### Foto 3.8 Toma de lecturas



La operación es repetitiva hasta alcanzar el tramo en Estudio en este caso se repitió 20 veces la operación en todo el tramo de 1+000.00 m de Estudio.

**Tabla N° 3.9 Cálculo de Deflexiones y Radio de Curvatura  
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN  
ASTM D-4695 / MTC E1002-2000**

PROYECTO : EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

HECHO POR : Bach. Ing. Harold Meza P.

CARRIL : Km. 00+000 al Km. 01+000

FECHA : DERECHO : 16/06/2016

Equipo : Viga Benkelman Marca Pinzuar - Modelo PA-74 Serie N° 022

Dial : TYPE JO8 0.01 - 25mm.

Camión : Dodge, Placa V2W-817

Peso : 8400 Kg. (Con carga en el Eje Posterior)

Llantas : 10" x 20" (18 LONAS)

Presión : 80 Psi.

Relación de Brazo : 4:1

Factor de Estacionalidad : 1

PROGRESIVA (km)	LECTURAS DEL DIAL						DEFLEXIONES (mm x 10 <sup>-2</sup> )		TEMPERATURAS (°C)		ESPESOR DE CARPETA (cm)	DEFLEXIONES CORREGIDAS (mm x 10 <sup>-2</sup> )		RADIO DE CURVATURA (m)
	L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>500</sub>	D0	D25	AMB.	PAV	D0		D25		
00+050	100	98.2	97.0	94.5	92	32	25	19.2	43.6	5.5	28	22	490	
00+100	100	98.7	96.6	92.3	88	48	43	19.6	46	5.5	42	37	687	
00+150	100	98.5	97.2	94.6	92	32	26	19.6	46.1	5.5	28	23	596	
00+200	100	96.0	93.4	88.2	83	68	52	20.1	46	5.5	59	45	223	
00+250	100	98.5	97.6	95.8	94	24	18	21.2	46.1	5.5	21	16	596	
00+300	100	94.8	91.8	85.9	80	80	59	21.4	38.4	5.5	73	54	165	
00+350	100	96.2	93.6	88.3	83	68	53	21.4	38.4	5.5	62	48	226	
00+400	100	97.6	95.1	90.0	85	60	50	22.3	38.6	5.5	54	46	359	
00+450	100	98.8	98.4	97.7	97	12	7	24.3	47	5.5	10	6	748	
00+500	100	96.7	94.8	90.9	87	52	39	24.5	47.6	5.5	45	34	273	
00+550	100	94.4	90.9	84.0	77	92	70	25.1	50.6	5.5	79	60	163	
00+600	100	97.7	95.8	91.9	88	48	39	25.4	49	5.5	41	33	394	
00+650	100	98.7	98.2	97.1	96	16	11	26.1	52	5.5	14	9	707	
00+700	100	95.8	93.0	87.5	82	72	55	26.1	51	5.5	62	47	218	
00+750	100	96.7	94.8	90.9	87	52	39	26.5	51.7	5.5	44	33	278	
00+800	100	98.8	98.2	97.1	96	16	11	26.4	50.9	5.5	14	10	762	
00+850	100	95.5	93.0	88.0	83	68	50	28.1	52.7	5.5	58	42	205	
00+900	100	97.4	95.7	92.4	89	44	34	28.5	56	5.5	37	28	360	
00+950	100	97.7	95.4	90.7	86	56	47	28.2	53.4	5.5	47	40	402	
01+000	100	97.9	96.5	93.8	91	36	28	28.6	54	5.5	30	23	442	

## CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRANSITO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes, si no el determinante para el diseño es determinar el flujo de vehículos; es decir, qué tipo de vehículos transitan por la zona a analizar, según la clasificación del Reglamento Nacional de Vehículos, y con qué frecuencia lo hacen.

Asimismo, una vez obtenida esta información es necesario estimar una tasa de crecimiento para proyectar cuál será el flujo de vehículos dentro de los años que contemplará el diseño.

Este flujo vehicular se expresa utilizando un parámetro conocido como ESAL (Equivalent Single Axle 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.

### 4.2. VOLUMEN DE TRANSITO

Se determinó el volumen de transito mediante un conteo vehicular durante una semana, se hizo para los dos sentidos tanto de subida como de bajada, considerando el inicio de la vía en el cruce de la Avenida Pizarro con la Avenida Hartley y el final de la vía el cruce de la Avenida Dolores con la Avenida Hartley, los datos obtenidos en el conteo vehicular se encuentran en el **Anexo 4.1**.

Al hacer una comparación entre los resultados del estudio de transito realizado, podemos observar que en el **sentido de subida** transitan más

vehículos que en el sentido de bajada. Es así que se elige el de subida que es por el que circula más tránsito y se considera desfavorable.

Los resultados obtenidos en las **Tablas N° 4.1 y 4.2**, nos indican el volumen vehicular por sentido.



Tabla. 4.1 Resumen de conteo Vehicular por día - Sentido de Subida (Carril Izquierdo)

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
		PICK UP	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
LUNES	11621	2039	998	1877	58	9	164	60	11	5	9	5	6	2	1	3	5	16873
MARTES	10005	2130	1545	1739	60	10	104	64	19	5	4	3	4	1	0	2	3	15698
MIÉRCOLES	11591	1860	804	1858	48	9	181	86	15	6	7	8	4	5	2	2	1	16487
JUEVES	11053	1086	1113	1599	67	6	247	67	13	5	7	1	4	2	0	0	2	15272
VIERNES	11554	1946	917	2052	63	7	357	123	14	6	8	6	9	3	1	2	1	17069
SÁBADO	9668	1597	667	1583	55	9	298	21	0	7	10	7	11	3	3	2	3	13944
DOMINGO	7741	1352	525	1368	55	6	151	31	6	8	5	7	8	4	1	0	3	11271
<b>TOTAL</b>	<b>73,233</b>	<b>12,010</b>	<b>6,569</b>	<b>12,076</b>	<b>406</b>	<b>56</b>	<b>1,502</b>	<b>452</b>	<b>78</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>46</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>106,614</b>

Tabla. 4.2 Resumen de conteo Vehicular por día - Sentido de Bajada (Carril Derecho)

DÍA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
		PICK UP	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
LUNES	9213	1628	782	1839	64	7	224	62	7	3	7	6	6	4	0	0	3	13855
MARTES	8904	1709	1158	1471	31	5	131	54	9	6	6	8	7	5	3	1	4	13512
MIÉRCOLES	8314	1569	1031	1095	53	7	129	49	10	6	7	7	5	1	1	3	11	12298
JUEVES	9191	1745	1225	1471	39	6	127	44	6	5	4	3	7	5	2	0	2	13882
VIERNES	9904	1702	781	1969	59	6	264	76	8	4	8	4	6	0	2	0	1	14794
SÁBADO	8137	1420	618	1649	42	7	290	39	8	4	8	5	8	4	2	3	3	12247
DOMINGO	4935	788	326	920	28	7	142	38	6	3	5	8	8	2	2	3	3	7224
<b>TOTAL</b>	<b>58,598</b>	<b>10,561</b>	<b>5,921</b>	<b>10,414</b>	<b>316</b>	<b>45</b>	<b>1,307</b>	<b>362</b>	<b>54</b>	<b>31</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>27</b>	<b>87,812</b>

#### 4.3. TRANSITO MEDIO DIARIO ANUAL

Para obtener el tránsito promedio diario anual (TMDA), es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante un año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces, esta información anual es difícil de obtener, por los costos que ello implica, por esta razón que el análisis del Tránsito Promedio Diario Anual (TMDA) se estimará con base en la media muestral del Tránsito Promedio Diario Semanal (TMDS). Según la siguiente expresión.

$$TMDS = \frac{\sum \text{Transito de la semana}}{\text{numero de días (7)}} \quad \text{Ec. N° 4.1}$$

$$TMDA = TMDS \pm A \quad \text{Ec. N° 4.2}$$

El valor de  $A$ , máxima diferencia entre TMDA y TMDS, sumado o restado del TMDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de  $A$  es:

$$A = kE \quad \text{Ec. N° 4.3}$$

Dónde:

$k$  = Numero de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

$E$  = Error 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 equivalente al error estándar. Por lo tanto, también se puede escribir que:



$$E = \hat{\sigma} \quad \text{Ec. N° 4.4}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{n}} \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad \text{Ec. N° 4.5}$$

Dónde:

$\sigma'$  = Estimador de la desviación estándar poblacional

S = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de transito 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 como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TDMS)^2}{n-1}} \quad \text{Ec. N° 4.6}$$

Dónde:

TDi = Volumen de transito del día i.

Finalmente, la relación entre los volúmenes de transito promedio diario anual y semanal es:

$$TMDA = TMDS \pm A$$

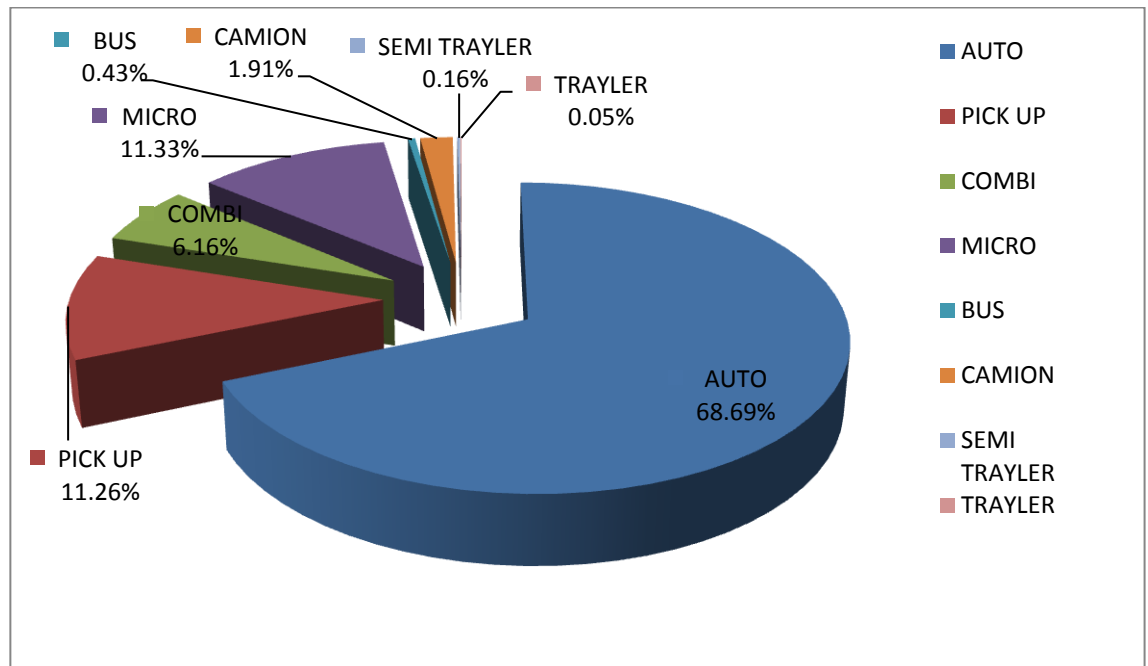
$$TMDA = TMDS \pm K\hat{\sigma} \quad \text{Ec. N° 4.7}$$

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.

Según el volumen de transito estudiado se observa que en el sentido de subida transitan más vehículos que en el sentido de bajada.

Entonces según a los datos del estudio de tránsito podemos obtener el TMDS y por lo tanto el TMDA.

Figura N° 4.1. Distribución del volumen de tránsito.



Fuente: Elaboración propia.

**Calculo del tránsito medio diario anual.**

El volumen de tránsito total de la semana es **106,614 vehículos** que es en el carril donde circula más tránsito y consideramos desfavorable.

a) Calculando el tránsito medio diario semanal, de la ecuación 4.1.

$$TMDS = \frac{106,614}{7}$$

$$TMDS = 15,231 \frac{veh}{día}$$

b) Calculando la desviación estándar **S**, de la ecuación 4.6.

$$S = \sqrt{\frac{25,209,683}{7 - 1}}$$

$$S = 2,050 \frac{veh}{día}$$

- c) Calculando la desviación estándar poblacional estimada ( $\sigma$ ), de la ecuación 4.5.

$$\hat{\sigma} = \frac{2,050}{\sqrt{7}} \left( \sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right)$$

$$\hat{\sigma} = 768 \frac{veh}{día}$$

- d) Calculando el Transito Medio Diario Anual, de la ecuación 4.7.

$$TMDA = 15,231 \pm 1.64 \times (768)$$

$$+TMDA = 16,491 \frac{veh}{día}$$

$$-TMDA = 13,971 \frac{veh}{día}$$

Consideramos el resultado mayor para tener mayor seguridad

$$TMDA = 16,491 \frac{veh}{día}$$

#### 4.4. TASA DE CRECIMIENTO

Las tasas de crecimiento vehicular varían dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo en estudio o de otras vías de naturaleza similar. Para el presente tramo en estudio no se ha encontrado información histórica o estadística de tráfico en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que pueda resultar de utilidad.

Una metodología alternativa o complementaria en el caso de no contar con información histórica o en caso que la misma resulte insuficiente es realizar un análisis de tendencia exponencial que sirve para modelos de

crecimiento el cual observa el comportamiento de diferentes rubros, este modelo de tendencia es útil cuando los valores de datos suben o bajan según tasas en aumento constante.

$$y = ce^{bx}$$

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 hallar.

Para la determinación de la tasa de crecimiento se estimó razonable realizar un análisis del crecimiento de **parque vehicular estimado para la ciudad de Arequipa**.

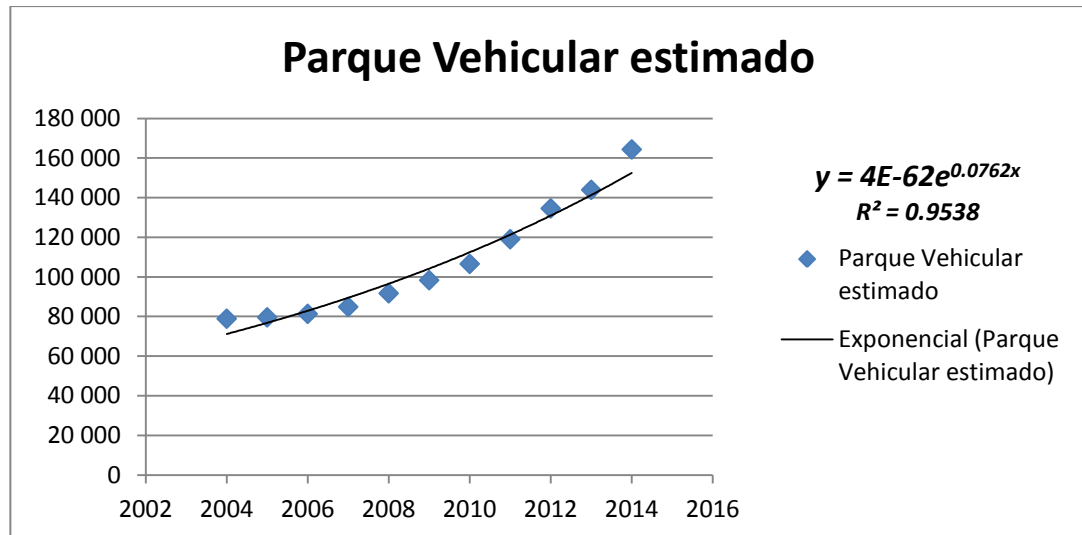
**Tabla. N° 4.3 Parque automotor en circulación a nivel nacional**

Departamento	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Total</b>	<b>1 473 530</b>	<b>1 534 303</b>	<b>1 640 970</b>	<b>1 732 834</b>	<b>1 849 690</b>	<b>1 979 865</b>	<b>2 137 837</b>	<b>2 223 092</b>	<b>2 423 696</b>
Amazonas	2 103	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314
Áncash	19 757	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	26 786	29 573
Apurímac	3 879	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 048	4 139
<b>Arequipa</b>	<b>81 293</b>	<b>84 829</b>	<b>91 674</b>	<b>98 270</b>	<b>106 521</b>	<b>118 985</b>	<b>134 533</b>	<b>143 914</b>	<b>164 302</b>
Ayacucho	3 969	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 950	6 021
Cajamarca	10 256	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	20 849	22 664
Cusco	36 204	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	57 222	64 820
Huancavelica	1 080	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 298	1 315
Huánuco	10 836	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	13 899	14 911
Ica	22 834	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 305	26 439
Junín	44 454	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	57 762	61 933
La Libertad	152 847	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	170 255	178 433
Lambayeque	38 744	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	56 412	61 896
Lima 1/	912 763	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 453 028	1 590 755
Loreto	5 215	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 372	5 533
Madre de Dios	827	870	913	941	986	1 027	1 062	1 099	1 136
Moquegua	10 394	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 772	14 979
Pasco	5 514	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 103	6 956
Piura	31 828	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	44 543	49 576
Puno	26 452	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	42 383	45 056
San Martín	10 033	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 082	11 648
Tacna	32 011	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 247	47 180
Tumbes	3 025	3 042	3 040	3 054	3 086	3 119	3 257	3 296	3 372
Ucayali	7 212	7 383	7 441	7 441	7 481	7 679	7 987	8 116	8 745

Fuente: INEI y SUNARP 2014

Se realiza la gráfica considerando en el eje de las abscisas los años y en el eje de las ordenadas la cantidad de vehiculos y se obtiene línea de tendencia exponencial:

**Figura N° 4.2 Crecimiento del parque vehicular en Arequipa.**



**Fuente: Elaboración propia**

Entonces según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento del Parque Vehicular Estimado de Arequipa es:

$$0.0762 = 7.62\%$$

La tasa de crecimiento del parque vehicular para este estudio se ha establecido bajo el criterio del Parque automotor en circulación a nivel nacional proporcionado por la INEI, también existe la manera de determinar el tasa de crecimiento considerando el **PBI** anual de la ciudad en estudio.

#### 4.5. FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE

Para hallar el número de ejes equivalentes que se presentan en el tramo, primero se debe uniformizar los tipos de vehículos que circulan bajo un mismo estándar. Dicho estándar está representado por el factor equivalente de carga por eje, teniendo como base los ejes de **18 kip u 80 kN**. Este factor es el denominado **factor destructivo**.


















Cada eje que conforma algún vehículo tiene un peso que puede ser igual o diferente a la carga estándar. Para el caso de nuestra Norma dadas por el **Ministerio de transportes y comunicaciones**, todos son diferentes por lo que resulta necesaria la aplicación de factores.

Existe la necesidad de homologar el efecto que tendrán los diferentes tipos de vehículos sobre el pavimento. Es por ello que se determina un factor de carga equivalente por eje o Equivalent Axle Load Factor (**EALF**) por sus siglas en inglés. Este factor define el daño producido en el pavimento por el paso del eje en cuestión relativo al daño producido por un eje estándar, usualmente el de 18 kip u 80 kN

También es importante recalcar que los ejes simples, tándem y trídem **no producen** el mismo daño sobre la estructura por lo que sus factores son distintos.

Con el Decreto Supremo N° 058-2003-MTC se tiene el Reglamento Nacional de Vehículo, la **Tabla N° 4.4** nos da un esquema y pesos de los vehículos por tipo de eje.

**Tabla. N° 4.4 Esquema y carga por eje por tipo de vehículo.**

CONF. VEH.	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA DE EJES	PESOS MAXIMOS (tn)				PESO BRUTO MAXIMO
				EJE DELANTER	EJES POSTERIORES			
					1°	2°	3°	
	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	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	TRAYKER 3T3		1-2-1-2	7	18	11	18	54

Fuente: Reglamento nacional de vehículos.

El EALF depende del **número estructural del paquete**, la **serviciabilidad y la carga aplicada** y puede ser determinado por:

a. *Ecuaciones del Ensayo AASHTO.*

b. Tablas de la guía AASHTO en función de la serviciabilidad y número estructural.

c. Relaciones simplificadas en base a correlaciones dadas por la Guía AASHTO 1993<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

Calculamos el EALF, aplicando las ecuaciones AASHTO

$$G = \log\left(\frac{4.2 - Pt}{4.2 - 1.5}\right) \quad \text{Ec. N° 4.8}$$

$$\beta_{18} = 0.4 + \left[ \frac{0.081(L_{18} + L_{2S})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \times L_{2S}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. N° 4.9}$$

$$\beta_x = 0.4 + \left[ \frac{0.081(L_x + L_{2X})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \times L_{2S}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. N° 4.10}$$

$$EALF = \left[ \left( \frac{L_{18} + L_{2S}}{L_x + L_{2X}} \right)^{4.79} \left( \frac{10^{\beta_x}}{10^{\beta_{18}}} \right) (L_{2X})^{4.33} \right]^{-1} \quad \text{Ec. N° 4.11}$$

Donde:

- **L<sub>x</sub>** es el peso del eje común en kips.
- **L<sub>18</sub>** es el valor de carga equivalente (18 kips/eje).
- **L<sub>2x</sub>** es el factor que define el tipo de eje L<sub>x</sub> a determinar como eje equivalente simple; 1 para eje simple, 2 para eje tándem, 3 para eje trídem.
- **L<sub>2s</sub>** 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.



Tomando en consideración el conteo de vehículos mostrado anteriormente consideramos el nivel de serviciabilidad final recomendado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de 2.5 para un pavimento que debe soportar ese tráfico. Asimismo, se utiliza un valor de número estructural de 5 como lo sugiere la AASHTO.<sup>34</sup>

Para el pavimento flexible estudiado se obtuvieron los siguientes factores de carga equivalente con las consideraciones ya mencionadas, se realizó una hoja de cálculo para cada tipo de vehículo obteniendo resultados de los EALF por tipo de eje y pesos, mostrados en la **Tabla 4.5**.

**Tabla. N° 4.5 EALF según tipo de eje y peso.**

CALCULO DE EALF PARA CADA TIPO DE EJE EN PAVIMENTO FLEXIBE														
Tipo de eje	Lx/ton	Lx/kips	L18	L2x	L2s	Pt	SN	G	Bx	G/Bx	B18	G/B18	Wx/W18	EALF
Simple	0.67	1.48	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.400	-0.502	0.500	-0.402	13730.93	<b>0.00007</b>
Simple	1.3	2.87	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.401	-0.502	0.500	-0.402	1630.07	<b>0.00061</b>
Simple	1.4	3.09	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.401	-0.501	0.500	-0.402	1250.18	<b>0.00080</b>
Simple	3.82	8.42	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.410	-0.490	0.500	-0.402	23.50	<b>0.04255</b>
Simple	7	15.44	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.463	-0.434	0.500	-0.402	1.86	<b>0.53803</b>
Simple	11	24.26	18	1	1	2.5	5	-0.201	0.651	-0.309	0.500	-0.402	0.32	<b>3.15438</b>
Tándem	16	35.28	18	2	1	2.5	5	-0.201	0.494	-0.407	0.500	-0.402	0.79	<b>1.26927</b>
Tándem	18	39.69	18	2	1	2.5	5	-0.201	0.535	-0.376	0.500	-0.402	0.50	<b>2.01855</b>
Trídem	23	50.72	18	3	1	2.5	5	-0.201	0.483	-0.416	0.500	-0.402	0.78	<b>1.28981</b>
Trídem	25	55.13	18	3	1	2.5	5	-0.201	0.507	-0.397	0.500	-0.402	0.56	<b>1.79872</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>34</sup> American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures Washington D.C. Appendix D-2

#### 4.6. FACTORES DE EQUIVALENCIA

El factor de equivalencia, factor camión (**FC**) o Load Equivalency Factor (**LEF**) se obtiene de la sumatoria de los EALF, de los ejes que componen cada automóvil, pick up, bus, camión, semitrayler o trayler.

**Tabla N° 4.6 Factores de equivalencia por cada vehículo considerado**

Tipo de vehículo	CARGAS (TON)				EALF				Factor de equivalencia (LEF)
	Eje delant	Ejes posteriores			Eje delantero	Ejes posteriores			
		1°	2°	3°		1°	2°	3°	
Auto	0.67	0.67			0.00007	0.00007			0.0001
Pick Up	1.3	1.3			0.00061	0.00061			0.0012
Combi Rural	1.4	1.4			0.00080	0.00080			0.0016
Micro	3.82	3.82			0.04255	0.04255			0.0851
Bus 2E	7	11			0.53803	3.15438			3.6924
Bus 3E	7	16			0.53803	1.26927			1.8073
Camión 2E	7	11			0.53803	3.15438			3.6924
Camión 3E	7	18			0.53803	2.01855			2.5566
Camión 4E	7	23			0.53803	1.28981			1.8278
Semi Trayler	7	11	11		0.53803	3.15438	3.15438		6.8468
Semi Trayler 2S3	7	11	25		0.53803	3.15438	1.79872		5.4911
Semi Trayler	7	18	11		0.53803	2.01855	3.15438		5.7110
Semi Trayler 3S3	7	18	25		0.53803	2.01855	1.79872		4.3553
Trayler 2T2	7	11	11	11	0.53803	3.15438	3.15438	3.15438	10.0012
Trayler 2T3	7	11	11	18	0.53803	3.15438	3.15438	2.01855	8.8653
Trayler 3T2	7	18	11	11	0.53803	2.01855	3.15438	3.15438	8.8653
Trayler 3T3	7	18	11	18	0.53803	2.01855	3.15438	2.01855	7.7295

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. PROYECCIONES DE TRANSITO FUTURO

El tráfico proyectado en general es un ejercicio que, debido a su naturaleza, tiene muchas implicancias y dificultades. En la realidad los factores que modifican el tráfico proyectado son numerosos y muchas veces imprevisibles en su evolución; y la ponderación de todos los factores al interior de una metodología de previsión es imposible. Otras palabras no existe un algoritmo matemáticamente definido que pueda explicar a plenitud la dinámica evolutiva del tráfico a través de sus

relaciones con todos los otros factores que tengan implicancias sobre el tráfico mismo.

La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total calculado anteriormente (TMDA total de 16,491), teniendo en cuenta la incidencia por tipo de vehículo se ajusta de manera que se obtiene el porcentaje por tipo de vehículo del total de los vehículos que transitan por la vía en estudio. La distribución y ajuste del volumen de tránsito se muestra en la **Tabla N° 4.7.**

**Tabla N° 4.7. Tráfico actual por tipo de vehículo (Sentido de Subida-Carril Izquierdo)**

Tipo de Vehículo	TMDA	Distribución (%)
Auto	11,327	68.69
Pick Up	1,858	11.27
Combi Rural	1,016	6.16
Micro	1,868	11.33
Bus 2E	63	0.38
Bus 3E	9	0.05
Camión 2E	232	1.41
Camión 3E	70	0.42
Camión 4E	12	0.07
Semi Trayler 2S1/2S2	6	0.04
Semi Trayler 2S3	8	0.05
Semi Trayler 3S1/3S2	6	0.04
Semi Trayler 3S3	7	0.04
Trayler 2T2	3	0.02
Trayler 2T3	1	0.01
Trayler 3T2	2	0.01
Trayler 3T3	3	0.02
<b>TMDA</b>	<b>16,491</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Para estimar el crecimiento del tránsito durante el período de diseño, se utiliza el modelo exponencial propuesto en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC. Este se presenta a continuación:

$$T_n = T_0(1+r)^{(n-1)} \quad \text{Ec. N° 4.12}$$

Donde:

$T_n$  : Tránsito proyectado al año n en veh/día

$T_0$  : Tránsito actual o del año base en veh/día

$n$  : Años del periodo de diseño

$r$  : Tasa anual de crecimiento

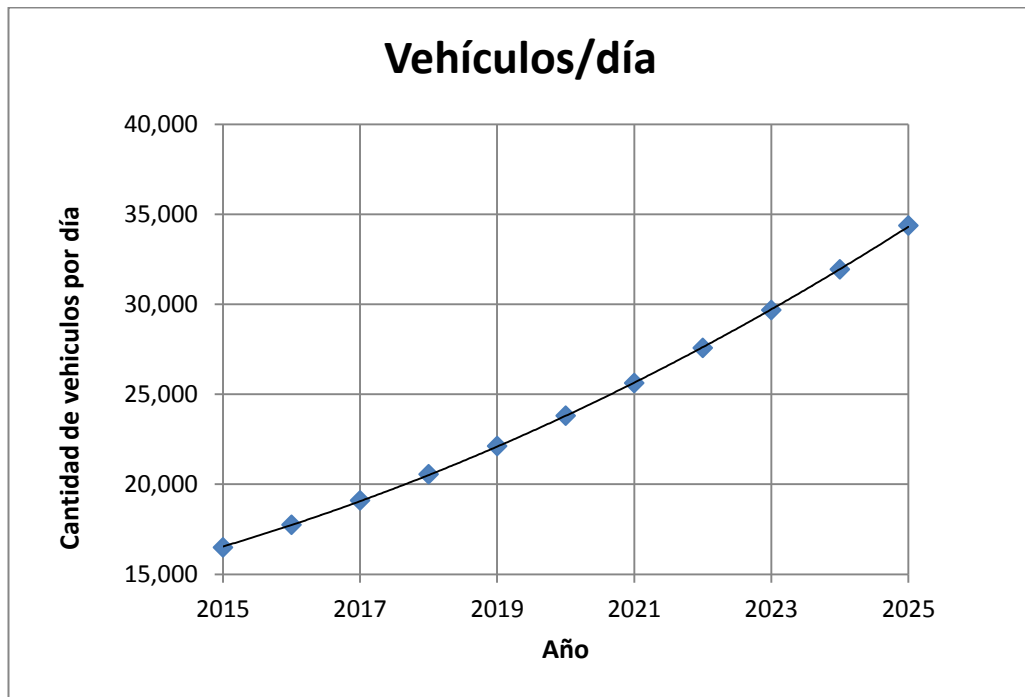
Con la cantidad de vehículos del año base (2015) y la tasa de crecimiento calculada en la sección anterior (7.62%), se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla N° 4.8. Proyección del TMDA en los próximos 10 años**

Año	n (años)	Vehículos/día
2015	0	16,491
2016	1	17,332
2017	2	18,216
2018	3	19,145
2019	4	20,121
2020	5	21,148
2021	6	22,226
2022	7	23,360
2023	8	24,551
2024	9	25,803
2025	10	27,119

**Fuente: Elaboración propia**

Figura N° 4.3 Proyección del TMDA en los próximos 10 años



Fuente: Elaboración propia

#### 4.8. DETERMINACIÓN DE NÚMERO TOTAL DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser también distintas. **Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma, mediante factores equivalentes de carga "LEF" o "FC", en un número equivalente de ejes, de 80 KN o**

18 kips, de una determinada carga, que define el daño en un pavimento de un tipo de eje cualquiera expresado en un eje simple equivalente estándar.

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.

$$ESAL = \sum_{i=1}^m F_i n_i$$

**Ec. N° 4.13**

$F_i$  es el factor de daño **LEF** para un grupo de carga  $i$

$$n_i = (n_o)(D)(L)(365)(g)$$

**Ec. N° 4.14**

Dónde:

$n_i$  = 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 equivalentes por año.

g = Factor de incremento del crecimiento anual.

El factor de incremento del crecimiento anual (g) es:

$$g = \frac{(1+r)^z - 1}{r}$$

**Ec. N° 4.15**

Donde:

$z$  = periodo de diseño (vida útil del pavimento).

$r$  = tasa anual de crecimiento.

Aplicando la **Ecuación N° 4.15**, calculamos  $g$ :

$z = 10$  años

$r = 7.62\%$

$$g = \frac{(1 + 0.0762)^{10} - 1}{0.0762} = 14.23$$

Considerando la formula propuestas por la AASHTO para calcular el número de ejes equivalente, se obtiene el ESAL final para el tramo.

Para hacer el cálculo del ESAL más sencillo, se procedió a hacer una hoja de cálculo considerando los diferentes parámetros evaluados anteriormente, obteniendo los resultados en la **Tabla N° 4.9**.

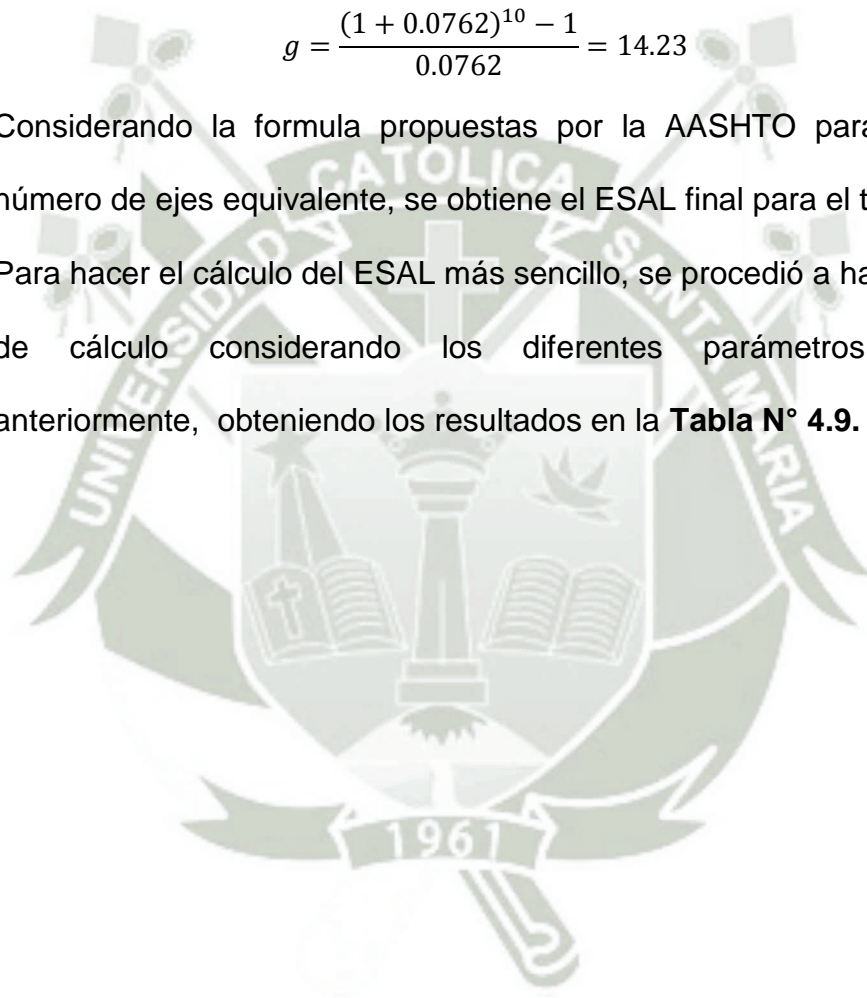


Tabla. N° 4.9. Calculo de ESAL

Tipo de vehículo	CARGAS (TON)				EALF				Factor de equivalencia (LEF)	TMDA	D	L	g	365	ESAL (Eq. 18kips)					
	Eje delant	Ejes posteriores			Eje delantero	Ejes posteriores														
		1°	2°	3°		1°	2°	3°												
Auto	0.67	0.67			0.00007	0.00007			0.0001	11,327	1	0.8	14.23	365	6,854.31					
Pick Up	1.3	1.3			0.00061	0.00061			0.0012	1,858	1	0.8	14.23	365	9,470.86					
Combi Rural	1.4	1.4			0.00080	0.00080			0.0016	1,016	1	0.8	14.23	365	6,752.57					
Micro	3.82	3.82			0.04255	0.04255			0.0851	1,868	1	0.8	14.23	365	660,503.06					
Bus 2E	7	11			0.53803	3.15438			3.6924	63	1	0.8	14.23	365	966,429.37					
Bus 3E	7	16			0.53803	1.26927			1.8073	9	1	0.8	14.23	365	67,576.12					
Camión 2E	7	11			0.53803	3.15438			3.6924	232	1	0.8	14.23	365	3,558,914.51					
Camión 3E	7	18			0.53803	2.01855			2.5566	70	1	0.8	14.23	365	743,492.45					
Camión 4E	7	23			0.53803	1.28981			1.8278	12	1	0.8	14.23	365	91,125.45					
Semi Trayler	7	11	11		0.53803	3.15438	3.15438		6.8468	6	1	0.8	14.23	365	170,670.25					
Semi Trayler 2S3	7	11	25		0.53803	3.15438	1.79872		5.4911	8	1	0.8	14.23	365	182,503.32					
Semi Trayler	7	18	11		0.53803	2.01855	3.15438		5.7110	6	1	0.8	14.23	365	142,357.28					
Semi Trayler 3S3	7	18	25		0.53803	2.01855	1.79872		4.3553	7	1	0.8	14.23	365	126,658.61					
Trayler 2T2	7	11	11	11	0.53803	3.15438	3.15438	3.15438	10.0012	3	1	0.8	14.23	365	124,649.80					
Trayler 2T3	7	11	11	18	0.53803	3.15438	3.15438	2.01855	8.8653	1	1	0.8	14.23	365	36,831.11					
Trayler 3T2	7	18	11	11	0.53803	2.01855	3.15438	3.15438	8.8653	2	1	0.8	14.23	365	73,662.21					
Trayler 3T3	7	18	11	18	0.53803	2.01855	3.15438	2.01855	7.7295	3	1	0.8	14.23	365	96,336.83					
										Σ TMDA					16,491					
														Σ ESAL o W18		7,064,788				
																7.065E+06				

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: METODOLOGIA DEL DISEÑO

### 5.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Con el propósito del desarrollo integral de la población del distrito de Paucarpata y José Luis Bustamante y Rivero, y con el objetivo de brindar óptimas condiciones de transitabilidad a través de la avenida Hartley, se ha propuesto mejorar la calidad de comunicación.

La avenida Hartley, se encuentra con un alto grado de deterioro, causado principalmente por la falta de mantenimiento, incremento del flujo vehicular y fuertes precipitaciones en los últimos años.

El Plan Urbano Distrital reconoce y plantea los lineamientos estructurales viales de Arequipa Metropolitana como ejes articuladores en base a los planes y proyectos provinciales con la finalidad de articularse en el sistema vial propuesto, es así que la Avenida Hartley constituye una Vía Interdistrital, catalogándose como eje principal de conexión de distritos.

La evaluación de campo del pavimento por los Métodos No Destructivos (NDT) y Métodos Destructivos (Calicatas), nos han proporcionado datos y parámetros para el diseño del pavimento y/o refuerzos asfálticos.

Para los diseños se han empleado tres métodos las que describiremos más adelante y son:

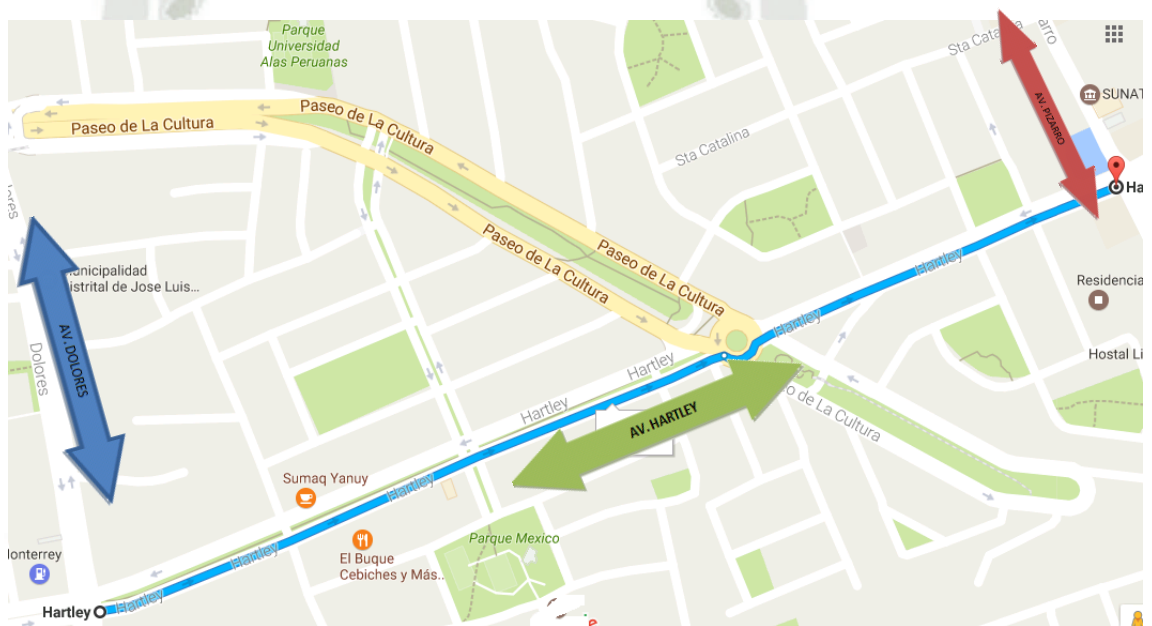
- ***Método CONREVIAl (Metodología Empírica)***
- ***Método Modelo de Hogg (Metodología Racional)***
- ***Método AASHTO 2008***

## 5.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de tesis en estudio está ubicado en:

- Región : Arequipa.
- Provincia : Arequipa.
- Distrito : José Luis Bustamante y Rivero.
- Sector : Entre la Av. Pizarro y la Av. Dolores.

**Figura N° 5.1 Mapa de ubicación del proyecto.**



Fuente: Google Maps

## 5.3. EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA DEL PAVIMENTO CON LA VIGA BENKELMAN

La evaluación de la condición estructural del pavimento nos permitió obtener deflexiones recuperable de un pavimento flexible realizadas mediante el Ensayo de la Viga Benkelman, como ya se menciona en el capítulo III, se identifica en la **Tabla N° 3.9** las  $D_0$  y  $D_{25}$  corregidas por temperatura y radios de curvatura, que representan las deflexiones de las 20 estaciones evaluadas, en solo un tramo del pavimento, ya que

requeríamos por kilometro ensayado un mínimo de 12 estaciones, la medición se realizó en el carril derecho de la vía, esparcidas equitativamente cada 50.00 metros, se hicieron más mediciones de las que dictaba el Instituto de Asfalto para aumentar la confiabilidad de nuestro trabajo.

Una vez obtenidas todas las mediciones se procedió a elaborar los análisis estadísticos de cada una de las secciones estructuralmente homogéneas, empleando la información de las estructuras de los pavimentos existentes, los ejes equivalentes (ESAL), y los tipos de suelos a nivel de sub rasante, entre otros.

Con fines de obtener los diseños de refuerzos asfálticos se ha recurrido a las siguientes metodologías:

*Metodologías Empíricas (CONREVIAL) y*

*Metodología Racional (Modelo Matemático de Hogg)*

### **5.3.1. MÉTODO CONREVIAL**

Para la presente evaluación se ha adoptado el Método CONREVIAL, este se viene utilizando desde el año 1982, realizado por el Consorcio de Rehabilitación Vial, cuyo objetivo fue evaluar el estado general de los pavimentos de las carreteras en el Perú y recomendar políticas de mantenimiento. Para emplear el Método debemos contemplar y analizar lo siguiente:

- Relación entre la Deflexión Característica y la Admisible.
- Presencia de fallas de tipo estructural.
- Estructura del Pavimento existente.

El método evalúa los siguientes parámetros:

### 5.3.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS MEDICIONES MEDIDAS.

Los estudios de Deflexiones recuperables han demostrado que las Deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal. En el **Tabla N° 3.9** “Calculo de deflexiones y radio de curvatura”, se consigna valores denominados “Deflexión corregida”, los mismos que se sustentan partiendo de la premisa de que para un pavimento asfáltico, la magnitud de la deflexión aumenta a mayor Temperatura en las capas asfálticas, atribuyéndole a la disminución de la rigidez de dichas capas y de las capas subyacentes por la temperatura, se ha optado la obtención de la Deflexión Corregida mediante el procedimiento de llevar los valores de las deflexiones a una temperatura Standard (20°C), mediante la **Ecuación N° 2.6**.

Por lo tanto, a partir de las Deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado en el **Tabla N° 5.1** la Deflexión promedio (D), la desviación estándar ( $\sigma$ ), y el coeficiente de variación (Cv).

**Tabla N° 5.1 Análisis estadístico de deflexiones.**

	<b>Do (0.01 mm)</b>	<b>D25 (0.01 mm)</b>	<b>Rc (m)</b>
CONTEO	20	20	20
SUMATORIA	848	656	8292
<b>DEFLEXIÓN PROMEDIO (D)</b>	<b>42.4</b>	<b>32.8</b>	<b>414.6</b>
MINIMO	10	6	163
MAXIMO	79	60	762
DESVIACION ESTÁNDAR ( $\sigma$ )	19.7	15.4	203.7
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (Cv.)	46.5	46.9	49.1
<b>DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA</b>	<b>75</b>	<b>58</b>	<b>750</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.1.2. DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA DEL PAVIMENTO

Para efectos de diseños de refuerzos asfálticos se emplea el concepto de Deflexión característica, que representa mejor a una sección de comportamiento Estructural Homogéneo; siguiendo el criterio adoptado en el Capítulo II y utilizando las **Ecuación N° 2.7**, y considerando el valor de “t” una decisión técnica que dependerá del número de determinaciones y del grado de confiabilidad.

Se adopta mayormente el 95%, es decir la que es superada por el 5% de las determinaciones ( $D_C = D + 1.645 \times \sigma$ ), se obtiene de la

**Tabla N° 5.1** los resultados:

- La deflexión característica es de **75 mm<sup>-2</sup>**
- El radio de curvatura es de **750 m**

### 5.3.1.3. DEFLEXIÓN ADMISIBLE DEL PAVIMENTO

El concepto de deflexión admisible, se encuentra íntimamente relacionada al ESAL (Número de ejes equivalentes utilizados para el diseño de pavimento.), el este proyecto de tesis se realizó el estudio tráfico el cual se obtiene el ESAL calculado en el Capítulo IV, el cual es **7.06 x 10<sup>6</sup>**.

- Aplicando la **Ecuación N° 2.1** del Instituto del Asfalto.

$$D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383}$$

$$D_{adm} = 25.64 \times (7.06 \times 10^6)^{-0.2383}$$

$$D_{adm} = 60 \text{ mm}^{-2}$$

- Aplicando la **Ecuación N° 2.2** de CONREVIAl.

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

$$D_{adm} = (1.15/7.06)^{0.25}$$

$$D_{adm} = 64 \text{ mm}^{-2}$$

- Aplicando la **Ecuación N° 2.3** California.

$$D_{adm} = 6.237 N^{-0.165}$$

$$D_{adm} = 6.237 x (7.06 x 10^6)^{-0.165}$$

$$D_{adm} = 46 \text{ mm}^{-2}$$

Donde:

$N = \text{ESAL}$

- ✓ Se va a considerar para este diseño que la deflexión admisible del pavimento es  $64 \text{ mm}^{-2}$ .

#### 5.3.1.4. DETERMINACIÓN DE REFUERZO ASFALTICO CONREVIAL

El método de la CONREVIAL utiliza la formula de Ruiz de Argentina, se debe tener en cuenta que la deflexión característica sea menor a la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), para nuestro caso la deflexión característica supera valores admisibles propios de las condiciones de trabajo y del método de evaluación, como concepto de fatiga de los revestimientos asfálticos, y que el aporte estructural de los refuerzos disminuye a medida que aumenta la rigidez del pavimento a recubrir, es decir, con su menor deflexión. La ecuación 5.1 para el cálculo del espesor de recapado o mejoramiento es:

$$h = \frac{R}{0.434} \times \log \frac{D_c}{D_{adm}} \quad \text{Ec. N° 5.1}$$

Donde:

H = Espesor de Refuerzo (cm.)

$D_{adm}$  = Deflexión Admisible en centésimas de milímetros.

$D_c$  = Deflexión Característica en centésimas de milímetros.

R = Coeficiente con dimensiones de un espesor, que expresa la capacidad del material de refuerzo para reducir la Deflexión del pavimento subyacente. El manual de CONREVIAl recomienda un valor  $R=17$ .

Teniendo como datos la deflexión admisible  $64 \text{ mm}^{-2}$  y la deflexión característica  $75 \text{ mm}^{-2}$  calculamos el espesor de refuerzo con la **Ecuación 5.1.**

$$h = \frac{17}{0.434} \times \log \frac{75}{62}$$

$$h = 2.7 \text{ cm} = 1.06 \text{ plg.}$$

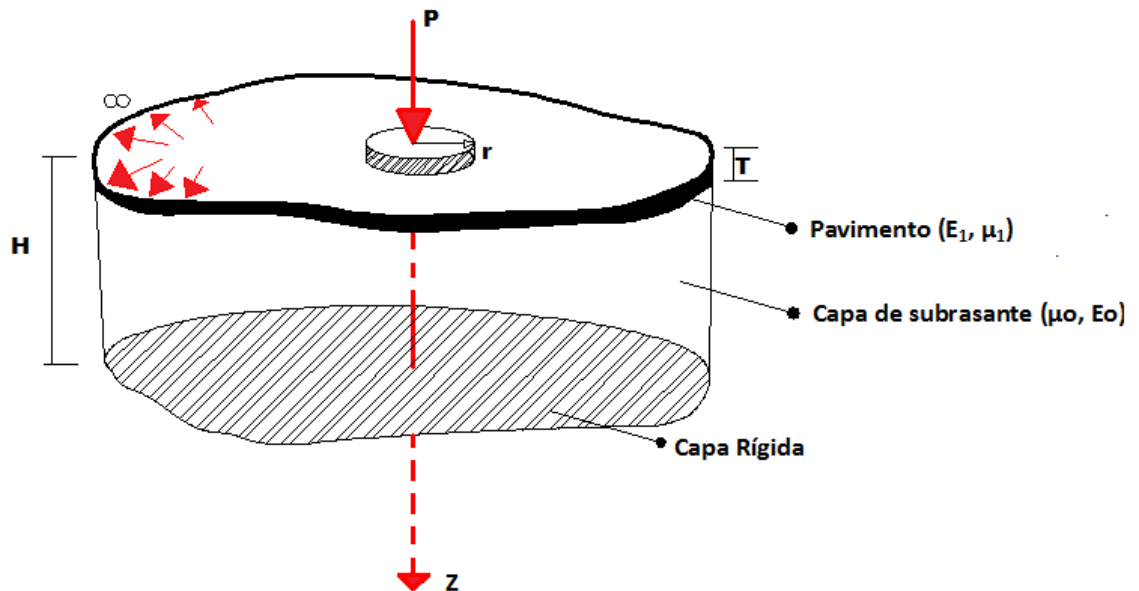
✓ **Consideramos el espesor de refuerzo para 10 años por este método 1.5 pulg de espesor.**

### 5.3.2. MÉTODO ELÁSTICO (MODELO MATEMÁTICO DE HOGG)

En el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que se conoce por su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base

rígida, horizontal y perfectamente rugosa. La **Figura N° 5.2** describe la geometría y los parámetros del modelo de Hogg.

**Figura N° 5.2** Esquemas y parámetros del modelo Hogg



Rigidez a la Flexión de la Placa	$D = \frac{E_1 \times T^3}{12(1 - \mu_1^2)}$	(T-m)	<b>PARÁMETRO BÁSICOS DEL MODELO</b>
Longitud Característica	$L_o = \left[ \frac{D(1 + \mu_o)(3 - 4\mu_o)}{2(1 - \mu_o)E_o} \right]$	(Cm)	
Módulo de elasticidad de la Subrasante	$E_o$	(Kg/cm <sup>2</sup> )	
Módulo de Poisson de la Subrasante	$\mu_o$	(Adimensional)	
Profundidad de la capa rígida	$H$	(Cm)	
Se obtiene conociendo dos valores de deflexiones medidas	$L_o, E_o, D$		Parámetros de Evaluación

**Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)**

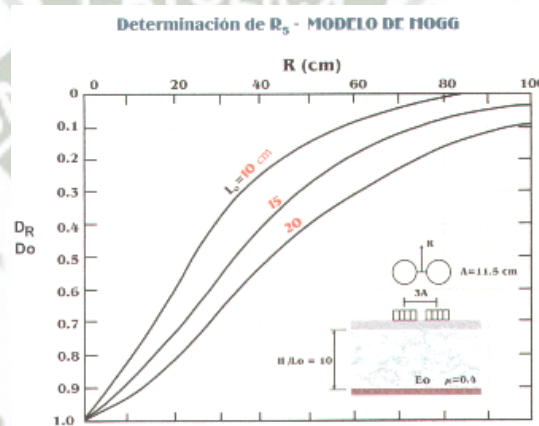


### 5.3.2.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG

✓ **Determinación de R<sub>5</sub>**

**R<sub>5</sub>** es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación  $D_R/D_0 = 0.5$  en la curva de deflexiones (**Figura N° 5.3**).

**Figura N° 5.3 Curva de Deflexiones**



Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

Para el modelo de HOGG se ha establecido que **R<sub>5</sub>** puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R_5 = R \left[ \frac{A^C - B}{\left( A \left( \frac{D_0}{D_R} - 1 \right)^C - B \right)} \right] \quad \text{Ec. N° 5.2}$$

Donde:

$R$  = Distancia a la que se mide la deflexión  $D_R$

$D_0$  = Deflexión Máxima.

$D_R$  = Deflexión a la distancia  $R$

A, B, C = Coeficientes de correlación (**Tabla 5.2**)

**Tabla N° 5.2 Coeficientes para el Cálculo de  $R_5$**

H/L0	$\mu$	A	B	C
$\infty$	Cualquier Valor	3.115	0	0.584
10 DR/D0>0.7	0.5	2.460	0	0.592
10 DR/D0<0.7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/D0>0.426	0.4	2.629	0	0.548
10 DR/D0<0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

El valor **R5** sirve de insumo para determinar la longitud elástica (**L<sub>0</sub>**) del pavimento según se explica a continuación.

✓ **Determinación de la Longitud Elástica (L<sub>0</sub>)**

La longitud elástica (**L<sub>0</sub>**) del pavimento puede calcularse usando la **Ecuación 5.3**.

$$L_0 = \frac{Y \times R_5 + \sqrt{(Y \times R_5)^2 - 4A \times X \times R_5}}{2} \quad \text{Ec. N° 5.3}$$

Donde:

$R_5$  = Calculado en la ecuación 5.1.

$A$  = Radio de la huella circular de la carga.

$X, Y$  = Coeficientes de correlación (**Tabla 5.3**)

**Tabla N° 5.3 Coeficientes para el Cálculo de ( $L_0$ )**

H/ $L_0$	$\mu$	X	Y
10	0.5	0.183	0.620
10	0.4	0.192	0.602
$\infty$	Cualquier Valor	0.180	0.525

Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

El valor de  $L_0$  sirve de insumo para determinar el módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ) según se explica a continuación.

✓ **Determinación del Módulo de Elasticidad de la Subrasante ( $E_0$ )**

La determinación del módulo de elasticidad de la subrasante constituye un punto central de la metodología de evaluación. Para desarrollar soluciones numéricas programables en computadora, esta determinación se efectúa en dos pasos:

**Primer Paso:**

El primer paso consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un

área, para un cociente dado del valor  $A/L_0$ . La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión ( $S= P/D_0$ ).

La relación teórica se calcula por medio de la **Ecuación 5.4**:

$$\frac{S_0}{S} = 1 - M \left( \frac{A_0}{L} - 0.10 \right) \quad \text{Ec. N° 5.4}$$

Donde:

$S_0$  = Rigidez para carga puntal.

$S$  = Rigidez para carga de área.

$M$  = Coeficiente numérico (**Tabla 5.4**)

**Tabla N° 5.4 Coeficientes Valor Numérico (M)**

H/LO	$\mu$	M
$\infty$	Cualquier Valor	0.44
10	0.5	0.52
10	0.4	0.48

Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

**Segundo Paso:**

Una vez determinado el valor de  $S_0/S$ , se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante por medio de la siguiente **Ecuación 5.5**:

$$E_0 = \left( \frac{k \times I \times P}{L_0 \times D_0} \right) \times \frac{S_0}{S} \quad \text{N° 5.5}$$

Donde:

$k$  = Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la subrasante (**Tabla 5.5**)

$I$  = Coeficiente numérico (**Tabla 5.6**)

$P$  = Carga total en la llanta doble

$L_0$  = Longitud elástica del Pavimento  
 $D_0$  = Deflexión Máxima.

**Tabla N° 5.5 Coeficientes Valor Numérico ( $k$ )**

$M$	$k$
0.5	1.50
0.4	1.633

Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

**Tabla N° 5.6 Coeficientes Valor Numérico ( $I$ )**

H/LO	$\mu$	$I$
$\infty$	Cualquier valor	0.1925
10	0.5	0.1614
10	0.4	0.1689

F

Fuente: HOFFMAN, M. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)

✓ **Determinación del Módulo de Elasticidad Equivalente del Pavimento ( $E^*$ )**

El módulo de elasticidad equivalente del pavimento ( $E^*$ ) representa a todas las capas del pavimento por encima de la subrasante. Para un pavimento flexible típico, compuesto de carpeta asfáltica y base granular, el módulo  $E^*$  representa a la carpeta y la base combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores de cada capa.

El modulo combinado  $E^*$  de la carpeta asfáltica y la base ( $H_C=H_1+H_2$ ), se determina usando el concepto de espesor equivalente, el cual se determina de aplicar con la siguiente

**Ecuación 5.6:**

$$HE = 0.9 \times (H_C) \times \left(\frac{E^*}{E_0}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. N° 5.6}$$

Finalmente se aplica la **Ecuación 5.7** que relaciona la deflexión máxima  $D_0$ , el modulo de elasticidad de la subrasante  $E_0$  y el modulo de elasticidad del pavimento ( $E^*$ ), cuya expresión es :

**Ec. N° 5.7**

$$D_0 = \frac{(1 + \mu)P}{2\pi} \left\{ \frac{1}{E^*} \left[ \frac{2(1 - \mu)}{r} - \frac{1}{R_1} (2(1 - \mu)) + \left(\frac{Z_1}{R_1}\right)^2 \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{E_0} \left[ \frac{1}{R_2} \left( 2(1 - \mu) + \left(\frac{Z_2}{R_2}\right)^2 \right) - \frac{1}{R_3} \left( 2(1 - \mu) + \left(\frac{Z_3}{R_3}\right)^2 \right) \right] \right\}$$

Donde:

$$r = 1.5 \times A$$

$$Z_1 = H_C + 0.6 \times A^2 / H_C$$

$$R_1 = \sqrt{Z_1^2 + r^2}$$

$$Z_2 = HE + 0.6 \times A^2 / HE$$

$$R_2 = \sqrt{Z_2^2 + r^2}$$

$$Z_3 = (HE + (N \times L_0) + 0.6 \times A^2 / (HE + (N)(L_0)))$$

$$R_3 = \sqrt{Z_3^2 + r^2}$$

$N = 10$  para base rocosa a espesor finito ( $H/L_0=10$ )

$N = 100$  para base rocosa a espesor infinito ( $H/L_0=$  infinito)

$$P = \text{Carga de ensayo} = \pi \cdot A^2 \cdot p \quad (p = \text{presión de inflado}).$$

La **Ecuación 5.7** se resuelve iterativamente elaborando una hoja de cálculo en la computadora para determinar el valor de  $E^*$  para cualquier combinación de valores de  $E_0$ ,  $H_C$ ,  $P$ ,  $p$ ,  $D_0$ ,  $R$ ,  $DR$ ,  $H/L_0$  y coeficiente  $\mu$ .

✓ **Parámetros de Evaluación**

Este método determina básicamente el **CBR de la Subrasante**, el **espesor equivalente del material granular**, el aporte estructural del pavimento existente y el requerido.

Según se ha expuesto, la metodología de evaluación estructural de pavimentos basada en la interpretación de deflexiones de superficie se sustenta matemáticamente en el Modelo de Hogg y en conceptos de la teoría de la elasticidad y resistencia de materiales, en la **Tabla 5.7** se tiene los datos usados para los cálculos del modelo Hogg.

**Tabla N° 5.7 Datos para el cálculo Modelo de Hogg**

<b>DATOS</b>	No DE EJES EQUIVALENTES 10 AÑOS (N)	7.06	$E^{+6}$
	<b>DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Da)</b>	<b>64</b>	$E^{-2}$ mm
	<b>COEFICIENTE DE POISSON (<math>\mu</math>)</b>	<b>0.4</b>	
	RADIO HUELLA CIRCULAR CONTACTO (A)	10.9	cm.
	<b>PRESIÓN DE INFLADO (<math>p</math>)</b>	<b>80</b>	<b>psi</b>
	DISTANCIA MIDE DEFLECCION (R)	25	cm.
	<b>CARGA SOBRE LA LLANTA</b>	<b>8.2</b>	<b>Ton</b>
	18000	LBS	

Fuente: Elaboración Propia

En base al análisis e interpretación de las curvas de deflexión, medidas con la Viga Benkelman, en la **Tabla 5.8** se calculó los parámetros estructurales del modelo de Hogg, usando las ecuaciones detalladas anteriormente.





**Tabla N° 5.8 Deflexiones en estructura existente - Modelo de Hogg**

EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA													
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN													
MODELO DE HOGG													
EQUIPO : Viga Benkelman				HECHO POR : Bach. Ing. Harold Meza P.									
TRAMO : Km. 00+000 al Km. 01+000				FECHA : 16/06/2016									
CARRIL : Derecho				RELACIÓN DE VIGA : 4:1									
DATOS DE CAMPO						MODELO DE HOGG							
Nº	PROGR. Km.	Temp Pav °C	DEFLEXIONES CORREGIDAS		RAD. CURV.	R5 cm.	L0 cm.	E0 Kg./cm <sup>2</sup>	HE cm.	E* Kg./cm <sup>2</sup>	E*/E0	CBR %	MR psi
			D MÁX.	D25									
1	0+050.00	44	28	22	490	49.24	25.62	1,315	36.6	3,117	2.37	10.1	13,501
2	0+100.00	46	42	37	687	79.36	44.00	569	58.4	5,475	9.63	4.4	6,561
3	0+150.00	46	28	23	596	55.84	29.68	1,187	41.2	4,014	3.38	9.1	13,697
4	0+200.00	46	59	45	223	47.69	24.66	644	35.6	1,399	2.17	5.0	7,433
5	0+250.00	46	21	16	596	45.65	23.40	1,899	34.2	3,672	1.93	14.6	17,141
6	0+300.00	38	73	54	165	44.35	22.59	563	33.4	1,009	1.79	4.3	6,491
7	0+350.00	38	62	48	226	49.46	25.76	601	36.8	1,441	2.40	4.6	6,931
8	0+400.00	39	54	46	359	62.03	33.46	554	45.7	2,555	4.61	4.3	6,388
9	0+450.00	47	10	6	748	31.22	14.19	5,181	25.6	4,203	0.81	39.9	32,918
10	0+500.00	48	45	34	273	45.14	23.08	891	33.9	1,679	1.88	6.9	10,285
11	0+550.00	51	79	60	163	46.53	23.95	497	34.8	1,014	2.04	3.8	5,740
12	0+600.00	49	41	33	394	55.01	29.17	813	40.7	2,651	3.26	6.3	9,386
13	0+650.00	52	14	9	707	37.32	18.16	3,477	29.0	4,100	1.18	26.7	25,402
14	0+700.00	51	62	47	218	47.98	24.84	620	35.8	1,369	2.21	4.8	7,150
15	0+750.00	52	44	33	278	45.14	23.08	909	33.8	1,697	1.87	7.0	10,486
16	0+800.00	51	14	10	762	39.77	19.72	3,282	30.4	4,457	1.36	25.2	24,463
17	0+850.00	53	58	42	205	43.76	22.22	717	33.0	1,241	1.73	5.5	8,278
18	0+900.00	56	37	28	360	47.54	24.57	1,046	35.5	2,264	2.16	8.0	12,075
19	0+950.00	53	47	40	402	60.96	32.81	647	44.9	2,833	4.38	5.0	7,469
20	1+000.00	54	30	23	442	47.98	24.84	1,257	35.8	2,788	2.22	9.7	14,503

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 5.9 Análisis estadístico - Modelo de Hogg**

ESTAD.	PROMEDIO D. ESTÁNDAR MÁXIMO MÍNIMO	E0	HE	E*	E*/E0	CBR	MR
		Kg./cm <sup>2</sup>	cm.	Kg./cm <sup>2</sup>		%	psi
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1,333.5</b>	<b>36.7</b>	<b>2,649</b>	<b>2.67</b>	<b>10.3</b>	<b>12,315</b>
	D. ESTÁNDAR	1,238.2	7.0	1,317	1.90	9.5	7,453
	MÁXIMO	5,181.1	58.4	5,475	9.63	39.9	32,918
	MÍNIMO	497.5	25.6	1,009	0.81	3.8	5,740

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2.2. DETERMINACIÓN DE REFUERZO ASFALTICO MODELO HOGG.

Para ilustrar el concepto del diseño del refuerzo consideramos el método de diseño para pavimentos de mediano volumen de tráfico propuesto por el Laboratorio de Investigación del Transporte Vial Británico (TRRL, 1982). Las curvas de diseño originales, basadas en el concepto de CBR, pueden aproximarse analíticamente por medio de la siguiente **Ecuación 5.8:**

$$HD = CBR^{-0.59}(4.63 + 6.09 \log N_{18}) \quad \text{Ec. N° 5.8}$$

Donde:

HD = Espesor requerido de diseño en pulgadas de material Granular.

CBR = CBR de diseño de la subrasante

N<sub>18</sub> = Número de aplicaciones de diseño del eje de carga Equivalente de 18 kilo libras (ESAL<sub>10AÑOS</sub>= 7.06 E+06 )

Luego calculamos el espesor de refuerzo de material granular requerido que consiste en la comparación entre este espesor efectivo y el espesor requerido para una demanda anticipada de tráfico, para establecer las necesidades de refuerzo estructura, usamos la **Ecuación 5.9:**

$$DH = HD - HEQ \quad \text{Ec. N° 5.9}$$

Donde:

DH = Espesor del refuerzo de material granular

HD = Espesor requerido de diseño

HEQ = Espesor efectivo del pavimento existente

La Ecuación 5.10 constituye la base para asignar un crédito estructural al pavimento existente con módulo  $E'$  y espesor  $HC=30.5$  desde el punto de vista del diseño.

$$H_{eq} = \left( \left( \frac{1}{3} \times \frac{E^*}{E_0} \right)^{1/3} \right) \times HC$$

El DH obtenido representa un espesor requerido de base granular, el cual puede ser convertido en espesor requerido de carpeta asfáltica usando coeficientes estructurales según la AASHTO:

Concreto Asfáltico convencional	a1	0.44 /pulg	0.165 /cm
Base Granular	a2	0.15 /pulg	0.06 /cm

En la **Tabla N° 5.10** se determinó el refuerzo – modelos Hogg por cada tramo evaluado.

**Tabla N° 5.10 Determinación de refuerzo - Modelo de Hogg**

Nº	PROGR. Km.	E*/E0	CBR %	HEQ cm	Espesores requeridos en Base Granular (cm)		Refuerzo Asfáltico (10 años)		ESAL 10 Años
					HD	DH	cm	plg	
1	0+050.00	2.37	10.1	28.20	30.1	1.9	NR	NR	7.06E+06
2	0+100.00	9.63	4.4	44.99	49.3	4.3	1.5	0.6	
3	0+150.00	3.38	9.1	31.74	31.9	0.2	NR	NR	
4	0+200.00	2.17	5.0	27.39	45.8	18.4	6.5	2.6	
5	0+250.00	1.93	14.6	26.35	24.2	-2.2	NR	NR	
6	0+300.00	1.79	4.3	25.69	49.6	23.9	8.4	3.3	
7	0+350.00	2.40	4.6	28.31	47.7	19.4	6.8	2.7	
8	0+400.00	4.61	4.3	35.21	50.1	14.9	5.2	2.1	
9	0+450.00	0.81	39.9	19.72	13.4	-6.3	NR	NR	
10	0+500.00	1.88	6.9	26.12	37.8	11.7	4.1	1.6	
11	0+550.00	2.04	3.8	26.81	53.3	26.5	9.4	3.7	
12	0+600.00	3.26	6.3	31.36	39.9	8.5	3.0	1.2	
13	0+650.00	1.18	26.7	22.34	16.9	-5.4	NR	NR	
14	0+700.00	2.21	4.8	27.54	46.8	19.3	6.8	2.7	
15	0+750.00	1.87	7.0	26.04	37.4	11.3	4.0	1.6	
16	0+800.00	1.36	25.2	23.42	17.5	-5.9	NR	NR	
17	0+850.00	1.73	5.5	25.38	43.0	17.6	6.2	2.4	
18	0+900.00	2.16	8.0	27.35	34.4	7.0	2.5	1.0	
19	0+950.00	4.38	5.0	34.59	45.7	11.1	3.9	1.5	
20	1+000.00	2.22	9.7	27.58	30.9	3.3	1.2	0.5	

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ *Con este método determinamos el promedio de refuerzo asfáltico teniendo como resultado 1.99 pulg  $\approx$  2 pulg de espesor para un periodo de 10 años*

#### 5.4. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO MECANÍSTICO – EMPÍRICO AASHTO 2008.

En este capítulo se analizará detalladamente el procedimiento de diseño empírico mecanicista que establece la Guía Mecanística-Empírica de pavimentos AASHTO 2008.

El método empírico-mecanístico se compone en dos partes. La primera implica el uso de modelos estructurales para determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos en la estructura de pavimento mediante el modelo propuesto por la AASHTO 2008, el cual utiliza el programa de elementos finitos **3D-MOVE** creado por profesor R. V. Siddharthan, y la segunda el uso de modelos empíricos para predecir el tipo y nivel de daños en diversos momentos.

Se realizará los cálculos con el software **CR-ME** propuesto por la Universidad de Costa Rica el cual es una herramienta de interfaz gráfica de cálculo que se ha generado basado a la nueva metodología *Mecanística-Empírica de Diseño de Pavimentos MEPDG*.

##### 5.4.1. PARÁMETROS DE ANÁLISIS

###### Criterios de comportamiento.

- ✓ **Confiabilidad:**

La Avenida Hartley que es una Arteria Principal entonces nuestro nivel de confiabilidad es de 90%. **(Tabla 5.1)**

✓ **Fisuración de arriba hacia abajo – Agrietamiento Longitudinal:**

Limite admisible 1000 pies/milla (190m/km).

✓ **Fisuración de abajo hacia arriba - piel de cocodrilo:**

Limite admisible 25%

✓ **Fisuración térmica:**

Limite admisible 1000 pies/milla (190m/km).

✓ **Deformación permanente “Ahuellamiento”**

Valor típico admisible es: 0.9 pulg.

✓ **Deformación permanente “Ahuellamiento” capa asfáltica**

Valor típico admisible es: 0.5 pulg.

#### 5.4.2. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Información del volumen del tránsito en el año base.

✓ **Transito medio diario anual de vehículos.**

$$TMDA_{2015} = 16,491 \frac{veh}{día}$$

✓ **Número de carriles en la dirección de diseño: 2.**

✓ **Porcentaje de vehículos en la dirección de diseño: 100%**

✓ **Porcentaje de vehículos en el carril de diseño (L):** Ya que tenemos 2 carriles por sentido el valor que se tomara el de 80%.

✓ **Velocidad operativa de los vehículos promedio: 40km/hr (25mph)**

✓ **Distribución por clase de vehículo:** Se tiene la **Tabla N° 5.11:**

**Tabla N° 5.11. Porcentaje de distribución de vehículos.**

Tipo de Vehículo	TMDA	Distribución (%)
Auto	11,327	68.69
Pick Up	1,858	11.27
Combi Rural	1,016	6.16
Micro	1,868	11.33
Bus 2E	63	0.38
Bus 3E	9	0.05
Camión 2E	232	1.41
Camión 3E	70	0.42
Camión 4E	12	0.07
Semi Trayler 2S1/2S2	6	0.04
Semi Trayler 2S3	8	0.05
Semi Trayler 3S1/3S2	6	0.04
Semi Trayler 3S3	7	0.04
Trayler 2T2	3	0.02
Trayler 2T3	1	0.01
Trayler 3T2	2	0.01
Trayler 3T3	3	0.02
<b>TMDA</b>	<b>16,491</b>	<b>100.00</b>

- ✓ **Factor de crecimiento de tránsito:** 7.62% (Deducido en el Capítulo IV)

**Configuración de los ejes:**

- ✓ **Ancho promedio del eje:** 8.5 pies (2.60 m).
- ✓ **El espacio entre ruedas:** 12 pulg.
- ✓ **Presión de los neumáticos:** 120 psi.

El MEPDG no utiliza cargas por eje equivalente (ESAL) y no requiere el desarrollo de factores de equivalencia de carga, solo se considera el volumen total de tránsito de camiones de acuerdo a la FHWA (clase 4 al 13).

Considerando que nuestro TMDA es de vehículos livianos y pesados, se realizó una conversión de los vehículos livianos no considerados a camión

3E, realizando equivalencia con los EALF del calculados en el estudio de transito (Capítulo IV).

**Tabla Nº 5.12. Conversión vehículos livianos a camión 3E.**

Tipo de vehículo	TMDA	Factor de equivalencia a Camión 3E	Camión 3E
Auto	11327	0.000112357	1
Pick Up	1858	0.000928406	2
Combi Rural	1016	0.001204675	1
Micro	1868	0.048149680	90
<b>TOTAL</b>			<b>94</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla Nº 5.13. Cantidad de total de vehículos pesados.**

Tipo de vehículo	TMDA	FHWA
Auto	0	<b>CLASE 2</b>
Pick Up	0	<b>CLASE 3</b>
Combi Rural	0	
Micro	0	
Bus 2E	63	<b>CLASE 4</b>
Bus 3E	9	
Camión 2E	232	<b>CLASE 5</b>
Camión 3E	164	<b>CLASE 6</b>
Camión 4E	12	<b>CLASE 7</b>
Semi Trayler 2S1/2S2	6	<b>CLASE 8</b>
Semi Trayler 2S3	8	<b>CLASE 9</b>
Semi Trayler 3S1/3S2	6	
Semi Trayler 3S3	7	<b>CLASE 10</b>
Trayler 2T2	3	<b>CLASE 11</b>
Trayler 2T3	1	
Trayler 3T2	2	
Trayler 3T3	3	<b>CLASE 12</b>
<b>TOTAL</b>	<b>516</b>	

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4.3. ANÁLISIS DEL CLIMA

Las condiciones ambientales tienen un efecto significativo en el comportamiento de los pavimentos flexibles. La interacción de los factores climáticos con los materiales de pavimento y las cargas que éste soporta es bastante complejo.

Los factores tales como precipitación, temperatura, ciclos de hielo-deshielo (no aplicables en nuestro país) y la profundidad del nivel freático afectan al pavimento, a la temperatura de la subrasante y al contenido de humedad el cual, en forma alterna, afecta directamente la capacidad de soportar cargas a las capas de pavimento y al comportamiento del mismo.

Para la realización de la presente tesis, el análisis climático se obtuvo introduciendo los datos de temperatura y precipitaciones para un año completo, con el objetivo de realizar perfiles climáticos, y así poder ver el efecto del clima en la estructura del pavimento, los datos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología "SENAMHI". Los datos que se obtuvieron están en la **Tabla N° 5.14**.



**Tabla Nº 5.14. Resumen anual de temperatura, precipitación y  
velocidad de viento del 2015.**

Meses	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación total (mm)	Velocidad media del viento (Km/h)	Humedad relativa media (%)
ENERO	15.9	22.1	11.1	25.91	10.6	46.5
FEBRERO	14.2	19.4	10.9	68.32	9.6	81.5
MARZO	14.4	19.8	11	53.35	9.7	78.7
ABRIL	15.5	21.5	11	0	9.5	60.6
MAYO	15.1	21.7	8.9	0	11.5	32.3
JUNIO	15.3	22.7	8.8	0	11.6	22.5
JULIO	14.1	21.6	7.3	0	11.9	18.5
AGOSTO	15.1	22.4	8.2	20.07	12.1	19.5
SEPTIEMBRE	15.6	22.8	9.2	0	11.5	21.6
OCTUBRE	16.3	22.6	10	0	11	27.6
NOVIEMBRE	16.3	22.6	10.3	0	10.8	30.4
DICIEMBRE	17.4	23.8	11.8	0	10.6	31.2

Fuente: Elaboración Propia basados en los datos reportados por la estación  
meteorológica: 847520 (SPQU) - CORPAC

#### 5.4.4. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

##### Carpeta Asfáltica

##### ✓ Gradación del agregado

En capítulo III Muestreo y análisis de la estructura asfáltica del pavimento en el numeral 3.2.7, tenemos:

- Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/4": 3.13%
- Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/8": 14.18%
- Porcentaje Retenido Acumulado malla N°4: 31.86%
- Porcentaje Pasante Acumulado malla N° 200: 6.92%

✓ **Propiedades del Ligante Asfáltico.**

El nivel 3 es el nivel en que el usuario cuenta con menor conocimiento de los datos de la mezcla asfáltica por lo tanto se dará un valor estimado de modulo dinámico de **400,000 PSI** recomendado por la Guía AASHTO 1993, que considera como parámetros de diseño de la carpeta asfáltica el modulo dinámico, para mezclas asfálticas en caliente estos valores varían de 400,000 a 450,000 psi (28,000 a 32,000 kg/cm<sup>2</sup>) a 20°C <sup>35</sup> para todo tipo de tráfico y un grado de penetración 85-100.

*El hecho es que en el país no se cuenta aún con suficientes laboratorios debidamente acreditados para efectuar de modo confiable ensayos para la determinación del Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas.*

- ✓ **Temperatura de referencia °F:** 70°F (20°C).
- ✓ **Contenido efectivo de asfalto %:** Hallado en el capítulo III, numeral 3.2.6, se tiene **5.86%** de cemento asfáltico.
- ✓ **Porcentaje de vacíos %.** Se tiene el porcentaje de **4.0%** recomendado por el MTC.
- ✓ **Coefficiente de Poisson:** Ya que nuestra temperatura de referencia es 70°F el coeficiente Poisson será de 0.35.

---

<sup>35</sup> MINAYA, S., ORDOÑEZ, A. Diseño Moderno de Pavimentos, UNI, 2006

### Base Granular Existente

La base estudiada está clasificada como un A-1-b (0) por la clasificación AASHTO y SM por la clasificación SUCS.

El modulo resiliente se calcula en función al CBR. Para la evaluación del pavimento se considera el CBR de la calicata C-1 carril derecho al 95% de la MDS de **60.9%** (Capítulo III – Tabla N° 3.5), usando la fórmula propuesta por la guía AASHTO 2008 MEPDG tenemos:

$$M_R = 2555(CBR)^{0.64}$$

$$M_R = 2555(60.9)^{0.64}$$

$$M_R = 2555(60.9)^{0.64} = 35444.26 \approx \mathbf{35444 \text{ lb/pulg}^2}$$

El índice de plasticidad del suelo es NP. Los resultados del análisis granulométrico de este suelo de base se indican en la Tabla N° 3.3.

### Subrasante Existente.

La subrasante estudiada está clasificada como un A-2-4 (0) por la clasificación AASHTO y SM por la clasificación SUCS.

El modulo resiliente se determinó en función al CBR calculado con el modelo matemático de Hogg en base a la interpretación de deflexiones medidas con la Viga Benkelman, el cual nos da un CBR de **10.3%** (Capítulo V – Tabla N° 5.9), usando la fórmula propuesta por la guía AASHTO 2008 MEPDG tenemos:

$$M_R = 2555(CBR)^{0.64}$$

$$M_R = 2555(10.3)^{0.64}$$

$$M_R = 2555(10.3)^{0.64} = 11365.98 \approx \mathbf{11366 \text{ lb/pulg}^2}$$

### 5.4.5. RESULTADOS

Definido inicialmente los datos de entrada del diseño se procede al cálculo de lo que será, las respuestas estructurales en la sección estructural del pavimento. Lo cual consiste en conocer la distribución de esfuerzos, deformaciones unitarias, y deflexiones. El cálculo se realiza básicamente considerando al pavimento como un medio multicapas en donde el comportamiento de los materiales se basa en la teoría de la elasticidad. Para esto se cuenta con el programa **3D-Move Analysis** que está proporcionado con los modelos de predicción de pavimento de la MEPDG.

**Tabla N° 5.15. Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis**

Point No	X-Coord (in)	Y-Coord (in)	Z-Coord (in)	Normal Strain X-X (Micro-Strain)	Normal Strain Y-Y (Micro-Strain)	Normal Strain Z-Z (Micro-Strain)
1	4.886	4.886	1.0825	0.53091E+02	0.52992E+02	0.13230E+03
2	4.886	4.886	2.1434	-0.44745E+03	-0.45052E+03	0.56677E+03
3	4.886	4.886	7.165	-0.39635E+03	-0.39728E+03	0.10077E+04
4	4.886	4.886	12.265	-0.43537E+03	-0.43584E+03	0.11428E+04

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores encontrados anteriormente están en unidades de micropulgadas, por lo que es necesaria la transformación a pulgadas para la introducción al CR-ME, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 5.16. Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis**

Point No	Normal Strain X-X (Pulg)	Normal Strain Y-Y (Pulg)	Normal Strain Z-Z (Pulg)
1	0.000053091	0.000052992	0.0001323
2	-0.00044745	-0.00045052	0.00056677
3	-0.00039635	-0.00039728	0.0010077
4	-0.00043537	-0.00043584	0.0011428

Fuente: Elaboración Propia.

## PARAMETROS MODELOS DE DESEMPEÑO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES – MEPDG

- Existen dos tipos de fisuras relacionadas con la carga, las cuales se incluyen en la MEPDG: **las fisuras de piel de cocodrilo y las fisuras longitudinales**. El MEPDG asume que las fisuras de piel de cocodrilo o de fisuras de área se inician en la parte inferior de las capas de la mezcla asfáltica y se propagan a la superficie con el continuo tráfico de camiones, mientras se asume que las fisuras longitudinales se inician en la superficie.
- El número permitido de repeticiones de carga por ejes necesarios para el enfoque del índice de daño incremental para predecir ambos tipos de fisuras relacionadas con la carga (cocodrilo y longitudinal) se muestra en la siguiente ecuación

$$N_f = 0.00432 * k'_1 * C \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{3.9492} \left( \frac{1}{E} \right)^{1.281} \quad \text{Ec. N° 5.11}$$

Dónde:

$N_f$  = Número permitido de repeticiones de carga por eje para un pavimento flexible y recapados de HMA.

$\varepsilon_t$  = Deformación unitaria por tensión en lugares críticos y calculados por el modelo de respuesta estructural, en pulg/pulg,

$E$  = Módulo dinámico del HMA medido bajo compresión, en psi,

$C$  = Factor de ajuste de laboratorio a campo

$$C = 10^M$$

Ec. N° 5.12

$$M = 4.84 \left( \frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right)$$

Ec. N° 5.13

Donde:

$V_b$  = Contenido de asfalto efectivo por volumen, en %

$V_a$  = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla HMA

$k'_1$  = Factor de corrección de espesor, dependiente del tipo de fisuramiento.

Para ***fisuramiento de piel de cocodrilo o de abajo hacia arriba***:

$$k'_1 = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49 * hac)}}$$

Ec. N° 5.14

Para ***fisuramiento longitudinal o de arriba hacia abajo***:

$$k'_1 = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186 * hac)}}$$

Ec. N° 5.15

Donde ***hac*** es el espesor total de HMA, en plg

La MEPDG utiliza un enfoque que modela tanto el enfoque de arriba hacia abajo como de abajo hacia arriba agrietamiento. El enfoque se basa en el cálculo de los daños por fatiga en la superficie para el agrietamiento de arriba hacia abajo y en la parte inferior de cada capa de asfalto para el agrietamiento de abajo hacia arriba.

La estimación del daño por fatiga se basa en la Ley de Miner, que establece que el daño es dado por la siguiente relación.

$$D = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_i}$$

Ec. N° 5.16

Donde:

T = Número total de períodos estacionales.

$n_i$  = Tráfico real para el período i (**ESAL<sub>10AÑOS</sub> = 7.06 E+06**).

$N_i$  = Repeticiones de tráfico de una determinada carga que causa fallos en el período i.

El área de fisuramiento de piel de cocodrilo y la longitud del fisuramiento longitudinal se calcula a partir del daño total en el tiempo, utilizando diferentes funciones de transferencia.

La siguiente ecuación es la utilizada en la MEPDG para predecir la cantidad de **fisuramiento de piel de cocodrilo** en función de un área.

$$FC_{bottom} = \left( \frac{6000}{1 + e^{(C_1 * C_1' + C_2 * C_2' * \log_{10}(D * 100))}} \right) * \left( \frac{1}{60} \right)$$

Ec. N° 5.17

Dónde:

$FC_{Bottom}$  = Área del fisuramiento de piel de cocodrilo que inicia en la parte inferior de las capas de HMA, % del área total.

D = Índice de daño acumulado en la parte inferior de las capas de HMA.

$C_1, C_2$  = 1

$C_1'$  =  $-2 * C_2'$

$C_2'$  =  $-2.40874 - 39.748 * (1 + hac)^{-2.856}$

La siguiente ecuación es utilizada en la MEPDG para predecir la cantidad de **longitud de fisuras por fatiga**.

$$FC_{top} = 10.56 \frac{C_4}{1 + e^{C_1 - C_2 \log DI_{Top}}}$$

**Ec. N° 5.18**

Donde:

FC<sub>Top</sub> = Longitud de fisuras longitudinales que inician en la parte superior de la capa de HMA, pies/mi.

DI<sub>Top</sub> = Índice de daño acumulado cerca de la parte superior de la superficie de HMA

C<sub>1,2,4</sub> = Constantes de regresión de la función de transferencia;  
C<sub>1</sub> = 7.00; C<sub>2</sub> = 3.5; y C<sub>4</sub> = 1000.

➤ **Deformación permanente “Ahuellamiento”**

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de figuración.

**Para las capas de mezcla asfáltica en caliente (HMA)**

$$\frac{\epsilon_p \text{ HMA}}{\epsilon_r \text{ (HMA)}} = \beta_{1r} k_z 10^{k_{1r}} N^{k_{2r} * \beta_{2r}} T k^{3r * \beta_{3r}}$$

**Ec. N° 5.19**

Dónde:

ε<sub>p</sub>(HMA) = Deformación unitaria permanente o plástica axial acumulada en la subcapa/capa de HMA, en pulg/pulg.



$\epsilon_r(\text{HMA})$  = Deformación unitaria resiliente en la subcapa/capa de HMA, en pulg/pulg.

N = Número de repeticiones de carga por eje 80kN.

T = Temperatura de la mezcla del pavimento, en °F,

Kz = Factor de confinamiento de profundidad,

$K_{1r,2r,3r}$  = Parámetros de calibración global de campo

$B_{1r,2r,3r}$  = Constantes de calibración locales o de mezcla en el campo; para la calibración global, estas constantes fueron establecidas con un valor de 1.

Los ahuellamientos totales que se forman en la capa de HMA están dados por Quintus et al como:

$$PD = \sum_{i=1}^n \epsilon_p^i h_i$$

**Ec. N° 5.20**

Dónde:

PD = Deformación permanente, pulg

n = número de sub-capas

$\epsilon_p^i$  = Deformación total plástica en la sub-capa i

$H_i$  = espesor de subcapa i

**Para las capas no ligadas dentro de la estructura de pavimento;**

$$\Delta p_{soil} = \beta_{s1} k_{s1} \epsilon_v h_{soil} \frac{\epsilon_o}{\epsilon_r} \exp^{-\frac{\rho}{N}}$$

**Ec. N° 5.21**

Dónde:

$\Delta$  = Deformación permanente plástica para la capa/subcapa, en pulg

N = Número de repeticiones de carga por eje,

$\epsilon_0$  = Intercepción determinada de los ensayos de deformación permanente de carga repetida en el laboratorio en pulg/pulg

$\epsilon_r$  = Deformación unitaria resiliente impuesta en el ensayo de laboratorio para obtener las propiedades del material  $\epsilon_0$ ,  $\beta$  y  $p$  (constantes de calibración) en pulg/pulg

$\epsilon_v$  = Deformación unitaria vertical resiliente o elástica promedio en la capa/subcapa y calculada por el modelo de respuesta estructural, en pulg/pulg.

$h_{soil}$  = Espesor de la capa/subcapa no ligada, en pulg

$k_{s1}$  = Coeficiente de calibración global;  $k_{s1} = 1.673$  para materiales granulares y 1.35 para materiales de grano fino

$\beta_{s1}$  = Constante de calibración local para la formación de ahuellamiento en las capas no consolidados (base o subbase), la constante de calibración local presenta un valor de 1.

A diferencia de la superficie de HMA (mezcla asfáltica en caliente), la base se ve directamente afectada por la humedad del suelo y esto se tiene en cuenta en la ecuación anterior por el parámetro de material,  $\beta$  que se expresa como:

$$\text{Log}\beta = -0.61119 - 0.017638 (Wc)$$

**Ec. N° 5.22**

Donde:

$W_c$  = contenido de agua, en %

$$\rho = 10^9 \frac{C_o}{1 - 10^9 \beta}^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Ec. N° 5.23}$$

$$C_o = Ln \frac{a_1 M_r^{b_1}}{a_9 M_r^{b_9}} = 0.075 \quad \text{Ec. N° 5.24}$$

$M_r$  = Módulo resiliente de la capa unida o subcapa, psi

$a_1, a_9$  = constantes de regresión;  $a_1 = 0.15$  y  $a_9 = 20$

$b_1, b_9$  = constantes de regresión;  $b_1 = 0,0$  y  $b_9 = 0.0$

**Para la Subrasante**

$$\varepsilon_p(z) = (\varepsilon_{p,z=0}) e^{-k z} \quad \text{Ec. N° 5.25}$$

$\varepsilon_p(z)$  = deformación plástica vertical a la profundidad  $z$  (medida desde la parte superior de la subrasante)

$\varepsilon_{p,z}$  = deformación plástica vertical en la parte superior de la subrasante ( $Z = 0$ )

$z$  = profundidad medida desde la parte superior de la subrasante,

pulg

$k$  = constante obtenida a partir de análisis de regresión

$k$  está limitado por un valor de 0.000001 para evitar inconsistencias, la deformación permanente total en la capa de subrasante se obtiene resolviendo la siguiente integral;

$$\delta = \varepsilon_{p,z=0} \int_0^{h_{bedrock}} e^{-kz} dz = \left( \frac{1 - e^{-kh_{bedrock}}}{k} \right) \varepsilon_{p,z=0}$$

Ec.N°5.26

Dónde:

$\delta$  = deformación plástica total de la subrasante, pulg

$h_{bedrock}$  = profundidad hasta la roca madre, pulg.

- Los valores encontrados en la **Tabla N° 5.17. Resumen de daño y confiabilidad de la estructura existente** fueron calculados usando el software CR-ME , el software propuesto por la Universidad de Costa Rica es una herramienta de interfaz gráfica que usa los parámetros de modelos de desempeño en pavimentos flexibles – MEPDG considerados en este capítulo y el recorrido de su aplicación lo encontramos en el **Anexo 5.2**.

**Tabla N° 5.17. Resumen de daño y confiabilidad de la estructura existente**

Criterios de Desempeño	Daño Limite	Confiabilidad Deseada	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
Fisuramiento Longitudinal (pies/milla):	1000	90	2469.29	NO CUMPLE
Fisuramiento por fatiga de abajo hacia arriba (%):	25	90	78.40	NO CUMPLE
Deformación Permanente (Carpeta asfáltica) (pulg):	0.25	90	0.02	CUMPLE
Deformación Permanente (Base granular) (pulg):	0.3	90	0.18	CUMPLE
Deformación Permanente (Subrasante) (pulg):	0.2	90	0.01	CUMPLE
Deformación Permanente (Totalidad) (pulg):	0.75	90	0.22	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia basado en el Interfaz Gráfica CR-ME.

- Para este propósito se usó la herramienta externa 3DMove, el procedimiento de su aplicación lo encontramos en el **Anexo 5.1** y que nos da como resultado la **Tabla N° 5.15. Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis.**
- Los valores encontrados anteriormente en la **Tabla N° 5.17. Resumen de daño y confiabilidad de la estructura existente** fueron calculados usando el software CR-ME , el software propuesto por la Universidad de Costa Rica es una herramienta de interfaz gráfica que usa los parámetros de modelos de desempeño en pavimentos flexibles – MEPDG considerados en este capítulo y el recorrido de su aplicación lo encontramos en el **Anexo 5.2.**
- En el **Capítulo VI** de la presente tesis se hará el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la **Tabla N° 5.17.**

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO – MÉTODO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

Una vez registrados todas las fallas e información de la vía, y obtenido el índice de la condición de pavimento respectivo para cada unidad de muestra, se logró determinar el valor del PCI promedio de la evaluación de la Av. Hartley. Para tener una idea global de cuál es el estado del pavimento del Av. Hartley se ha elaborado la **Tabla N° 6.1.** donde se muestra a manera de resumen las unidades de muestra, el área de cada una de ella, el valor de PCI de cada unidad de muestra, el valor del PCI de la secciones identificadas y por último la clasificación correspondiente a los valores de PCI.

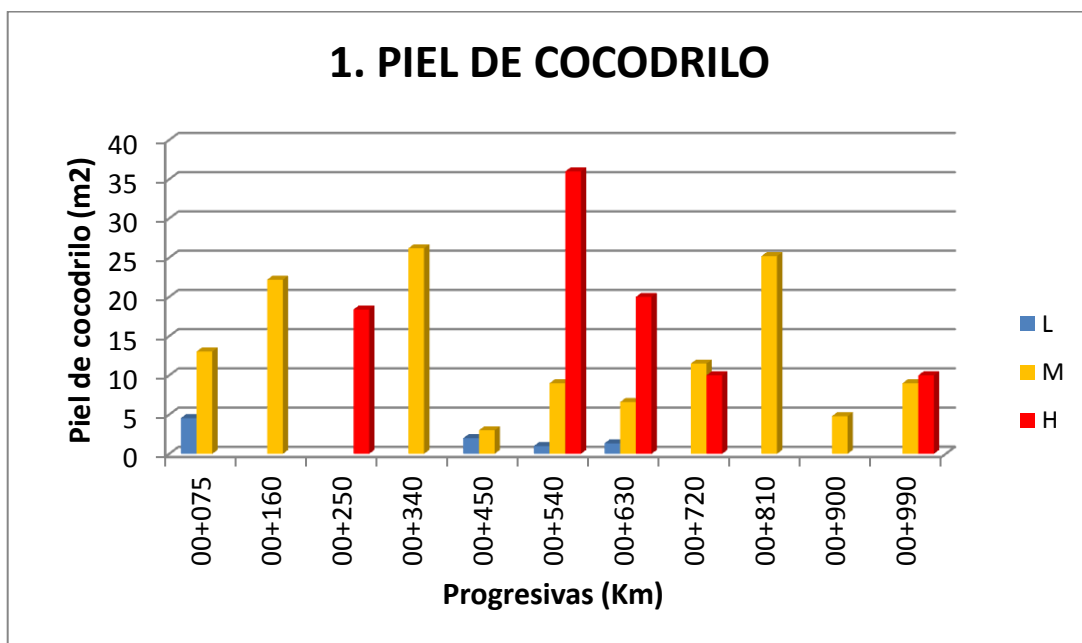
**Tabla N° 6.1. Resumen de resultado y clasificación correspondiente**

TRAMO AV. HARTLEY: km 0+000 A km 1+000 / CARRIL: Ambos						
N°	Área (m2)	Unidad de Muestreo	Progresiva		PCI	Clasificación
			Inicial	Final		
1	204	001	00+045	00+075	46	Regular
2	204	002	00+130	00+160	30	Pobre
3	204	003	00+220	00+250	30	Pobre
4	204	004	00+310	00+340	20	Muy Pobre
5	204	005	00+420	00+450	37	Pobre
6	204	006	00+510	00+540	12	Muy Pobre
7	204	007	00+600	00+630	15	Muy Pobre
8	204	008	00+690	00+720	27	Pobre
9	204	009	00+780	00+810	39	Pobre
10	204	010	00+870	00+900	37	Pobre
11	204	011	00+960	00+990	12	Muy Pobre
<b>PROMEDIO</b>					<b>28</b>	<b>Pobre</b>

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se presentan los resultados que serán presentados bajo los indicadores de la metodología PCI, los cuales son: tipos de fallas y el grado de severidad y que son presentados, de acuerdo a su metrado y entre las progresivas Km. 00+000 – Km. 01+000 de la Av. Hartley, en las siguientes graficas:

**Figura 6.1. Distribución de fallas Piel de Cocodrilo.**



**Figura 6.2. Distribución de Agrietamiento en Bloque**

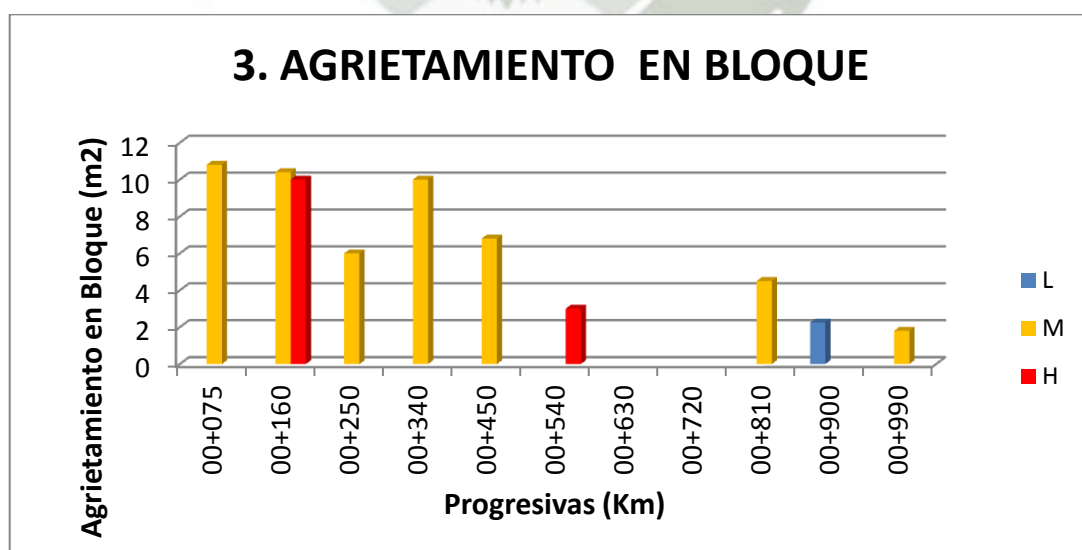


Figura 6.3. Distribución de Abultamientos y Hundimientos

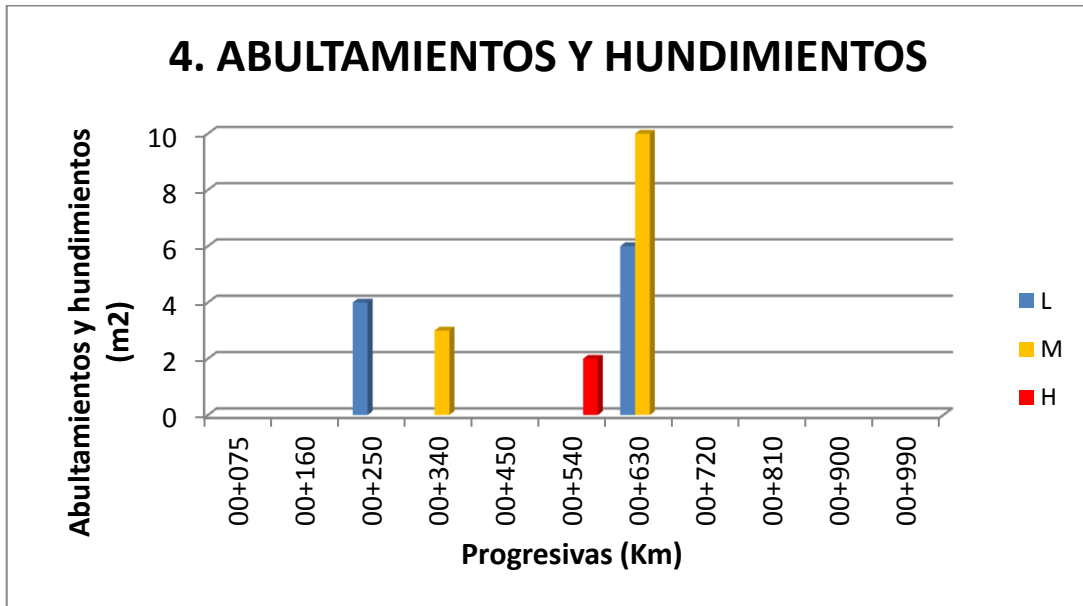


Figura 6.4. Distribución de Grietas Longitudinales y Transversales.

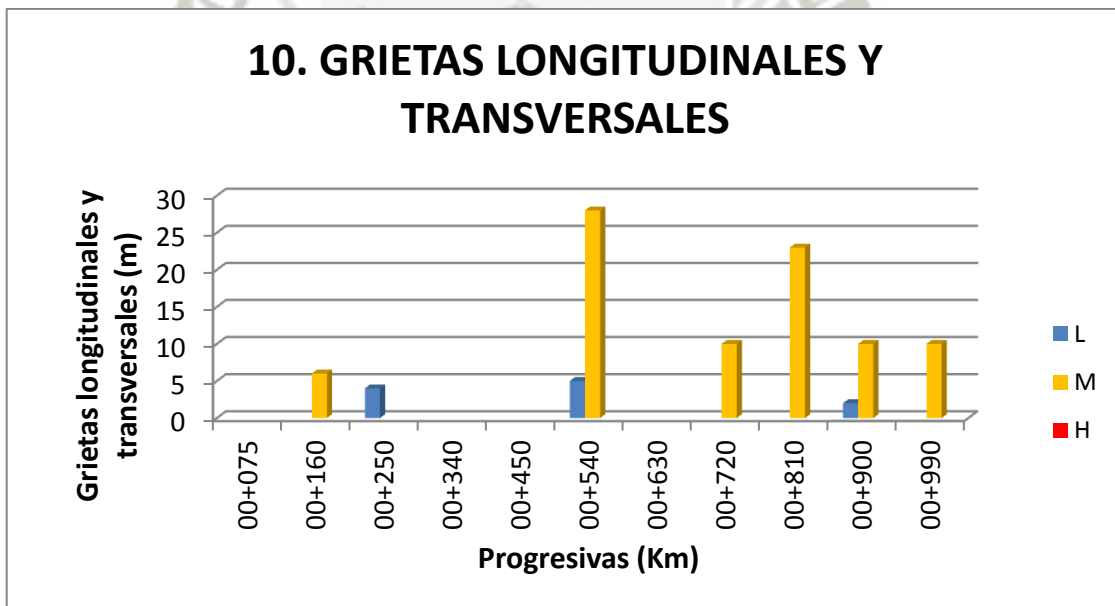




Figura 6.5. Distribución de Parcheo

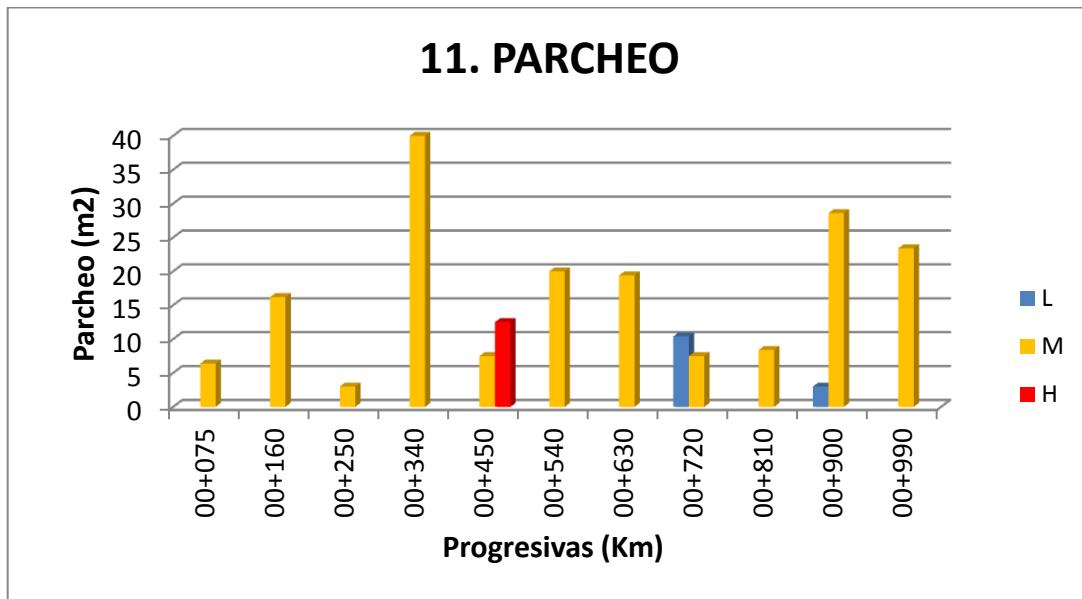


Figura 6.6. Distribución de Ahuellamiento.

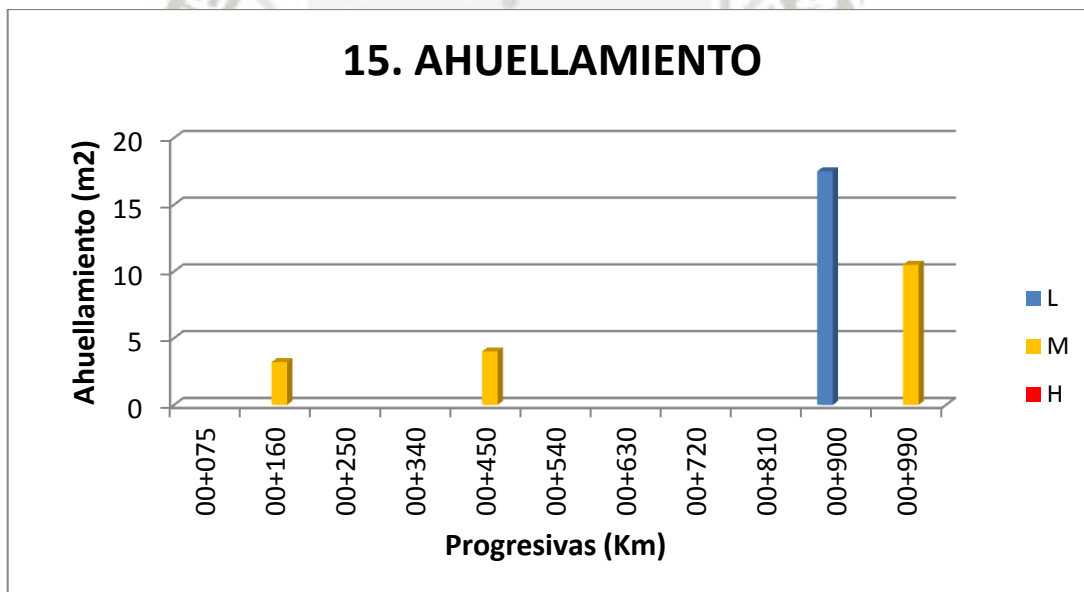
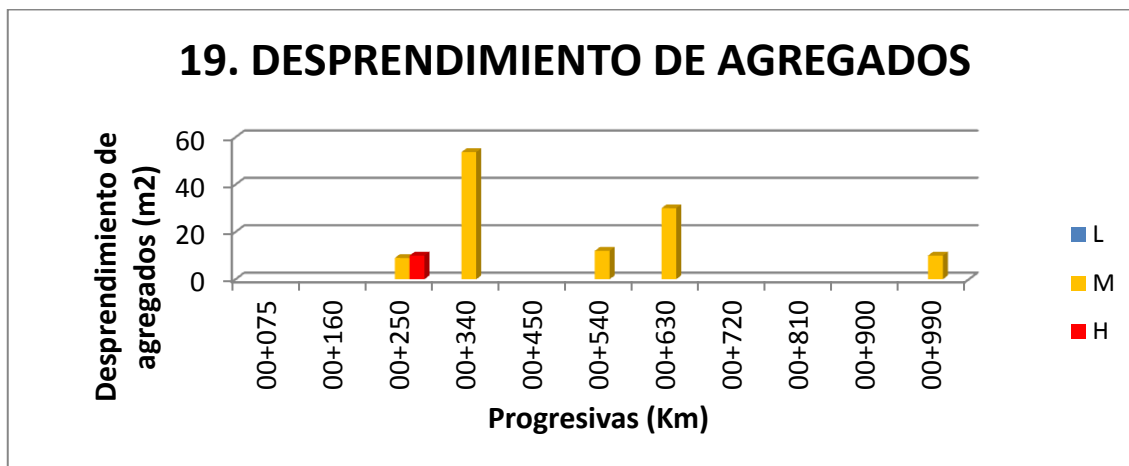


Figura 6.7. Distribución de Abultamientos y Hundimientos



Se tiene el resumen de metrados de cada uno de las fallas encontradas en la evaluación con sus respectivas severidades.

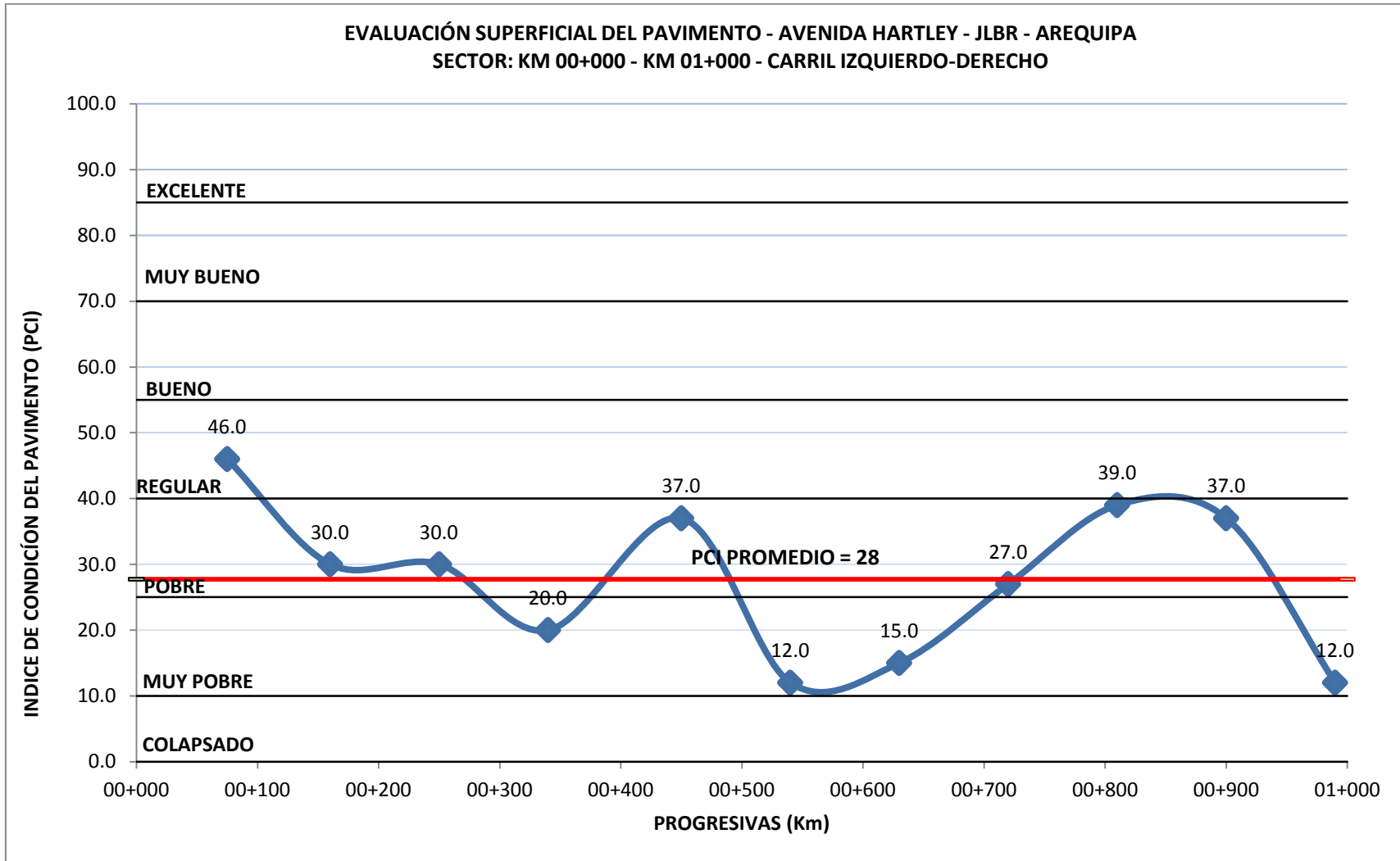
Tabla N° 6.2. Resumen de Metrados por Falla y Severidad

N°	Daño	Unidad	Nivel de Severidad	Metrado
1	PIEL DE COCODRILO	m2	L	8.90
			M	130.54
			H	94.40
3	AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	m2	L	2.25
			M	50.30
			H	13.00
4	ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	m2	L	10.00
			M	13.00
			H	2.00
10	GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSALES	m	L	11.00
			M	87.00
			H	0.00
11	PARCHEO	m2	L	13.40
			M	180.40
			H	12.50
15	AHUELLAMIENTO	m2	L	17.50
			M	17.70
			H	0.00
19	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	m2	L	0.00
			M	114.70
			H	10.00

Fuente: Elaboración Propia

- Se puede observar se tiene varios tipos de fallas con mayor extensión, como es la “1” Piel de cocodrilo cuya severidad baja (L), media (M) y alto (H), se presenta más frecuentemente a lo largo de todo el tramo de estudio. Asimismo es posible notar que están que el deterioro “11” Parcheo” cuya severidad (M), se presenta en todas las unidades de muestreo siendo este contante, y finalmente el “19” Desprendimiento de agregados cuya severidad (M), se presenta en la mayoría de cruces de vía y paradas por semáforo, esto debido al desprendimiento que puede ser causado por ciertos tipos de vehículos que tienden a frenar en estos cruces.
- Una vez obtenido el índice de condición de pavimento de las 11 unidades de muestra de la Av. Hartley, se puede conocer el estado de condición que presenta cada una de estas. Sin embargo para poder definir en qué condición se encuentra la vía en su totalidad, se obtuvo un índice de condición (PCI) promedio de 28 % y en base a este resultado nos indica que el tramo evaluado requiere una Rehabilitación Moderada (Reemplazando la superficie de rodadura y/o sellado de fisuras) del pavimento flexible existente.
- Finalmente se presenta el perfil del PCI (**Figura N° 6.8**) obtenido por cada unidad de muestra a lo largo del tramo de la Avenida Hartley, el cual se obtuvo de los valores de la **tabla N° 6.1**.

Figura N° 6.8. Perfil del índice de la condición del pavimento (PCI)



## 6.2. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO – MÉTODO DEFLECTOMÉTRICO.

### 6.2.1. DEFLECTOGRAMA Y PERFIL DE RADIO DE CURVATURA

Figura N° 6.9. Deflectograma del Pavimento con Viga Benkelman

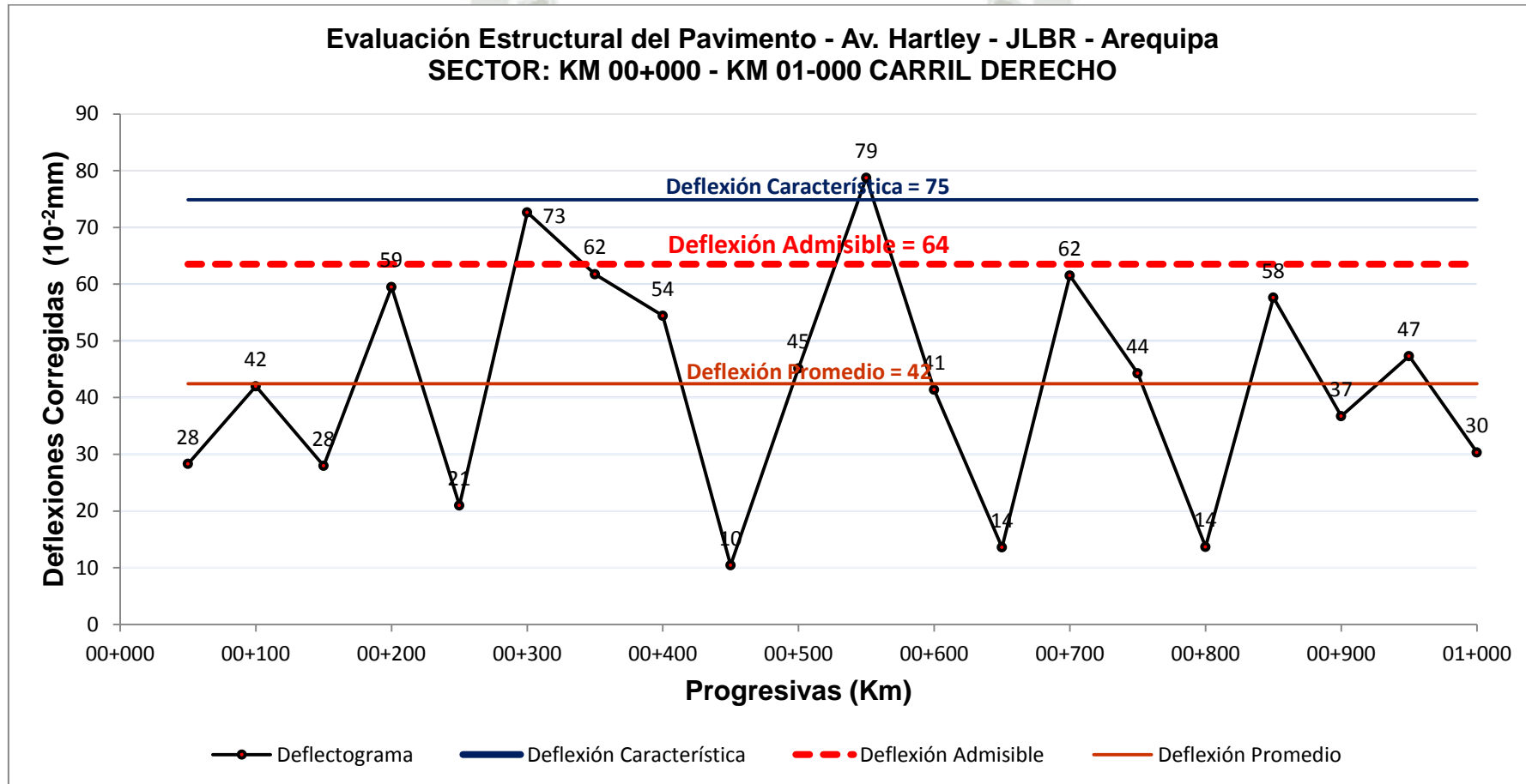
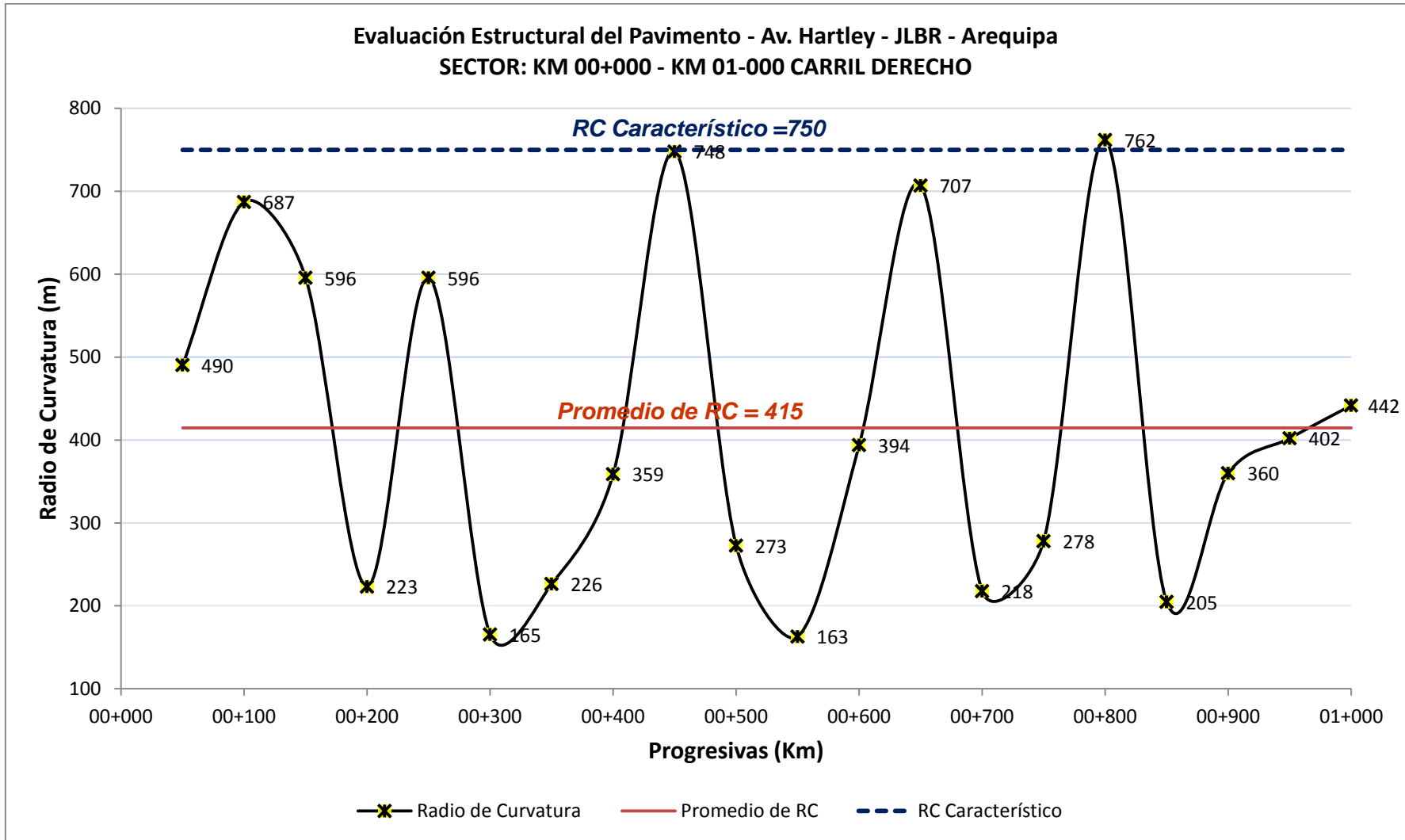


Figura N° 6.10. Radio de curvatura del pavimento evaluado.



- De acuerdo al perfil anterior, se observa que en general los valores de deflexión son altas lo cual indica un comportamiento inadecuado del material del pavimento por encontrarse envejecida, el valor promedio de la deflexión en todo el tramo es de  $42.4 \text{ (mm}^{-2}\text{)}$ , cuyo coeficiente de variación es de 46.5 (%), asimismo el valor característico obtenido ha sido de  $75 \text{ (mm}^{-2}\text{)}$ , con una desviación estándar de 19.7
- De acuerdo a los valores obtenidos, la deflexión característica está sobre la deflexión admisible, lo cual nos indica que la estructura del pavimento está fallando estructuralmente y por lo que se recomienda una intervención, considerando también sus deterioros superficiales.
- Considerando lo anterior se ha adoptado el Diseño de Refuerzos asfálticos (recapado asfáltico), para lo cual se analizaron alternativas de diseño mediante métodos analíticos que permitan optimizar la estructura del pavimento a ser adoptado, obtenidas mediante dos Metodologías: CONREVIAl y Modelo de HOGG.
- Teniendo como resultados la propuesta de espesor según la metodología.

**Tabla N° 6.3 Propuesta de refuerzo asfáltico.**

.Diseño de Refuerzo		
Metodología	Espesor de refuerzo (h)	
	pulg.	cm.
<b>CONREVIAl</b>	1.5	4
<b>Modelo de Hogg</b>	2	5

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2.2. INTERPRETACION DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y LA DEFLEXIÓN ADMISIBLE.

- Cuando se realiza la evaluación de una vía, se busca evaluar la capacidad estructural del pavimento, y poder establecer una mejor propuesta para una rehabilitación. Dos parámetros utilizados para determinar el comportamiento estructural de un pavimento son la deflexión admisible y la deflexión característica, que involucra conceptos estadísticos como promedio, desviación estándar y coeficiente de variación analizados en el **Capítulo V**.
- Los valores calculados de RC, Dc y la Dadm, se contrastan con la **Tabla N° 6.4**, que presenta las recomendaciones a tener en cuenta para la evaluación estructural y considerando que existen fallas de origen estructural se da por optar el **2° CASO** que nos permite el diseño del refuerzo.



**Tabla N° 6.4. Análisis combinado de los resultados de evaluación.**

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura).</p> <p><math>D_c &gt; D_{adm} + R_c</math></p>	No hay fallas de origen estructural.	<p>Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica.</p>	<p>Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento.</p> <p><b>1° CASO</b></p>
	Hay fallas de origen estructural generalizadas.		<p>Hay acuerdo entre todas las variables.</p> <p><b>a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo.</b></p> <p>b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos diseño.</p> <p><b>2° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas).</p> <p><math>D_c &gt; D_a - R_c</math></p>		<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad &lt; 1).</p>	<p>Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. <b>No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa.</b></p> <p><b>3° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos.</p> <p><math>D_c &lt; D_a - R_c</math></p>	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisura tipo piel de Cocodrilo).	<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.</p>	<p>Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). <b>De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones</b> para el proyecto; emplear métodos de diseño.</p> <p><b>3° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible.</p> <p><math>D_c &lt; D_a</math></p>	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación.	<p>Estructura degradada no adecuada para la fundación.</p>	<p>Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). <b>La deflexión no es representativa.</b></p> <p><b>4° CASO</b></p>
	No hay fallas de origen estructural.	<p>Estructura bien diseñada.</p>	<p>Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial.</p> <p><b>5° CASO</b></p>

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAl.  
Estudio de Rehabilitación de carreteras en el País

### 6.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA GUÍA DE DISEÑO MECANÍSTICO – EMPÍRICO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008

#### 6.3.1. CONFIABILIDAD DEL DISEÑO DE PRUEBA

Un resultado importante es una evaluación de la confiabilidad del diseño. Si la confiabilidad predicha es mayor que la confiabilidad especificada, entonces el pavimento pasa. Si ocurre lo contrario, entonces el pavimento falla. Si algún deterioro relevante de transferencia falla, el diseñador tendrá que modificar el diseño de prueba para corregir el problema.

#### 6.3.2. VALORES PRONOSTICADOS DE DESEMPEÑO.

La guía de diseño mecanístico – empírico de pavimentos AASHTO 2008 produce mes a mes los tipos de deterioro de transferencia y regularidad superficial durante el periodo de diseño. En el presente proyecto de tesis se examinó cuidadosamente los tipos de deterioro para ver si parecen razonables y si cumplen también con los criterios de desempeño especificados

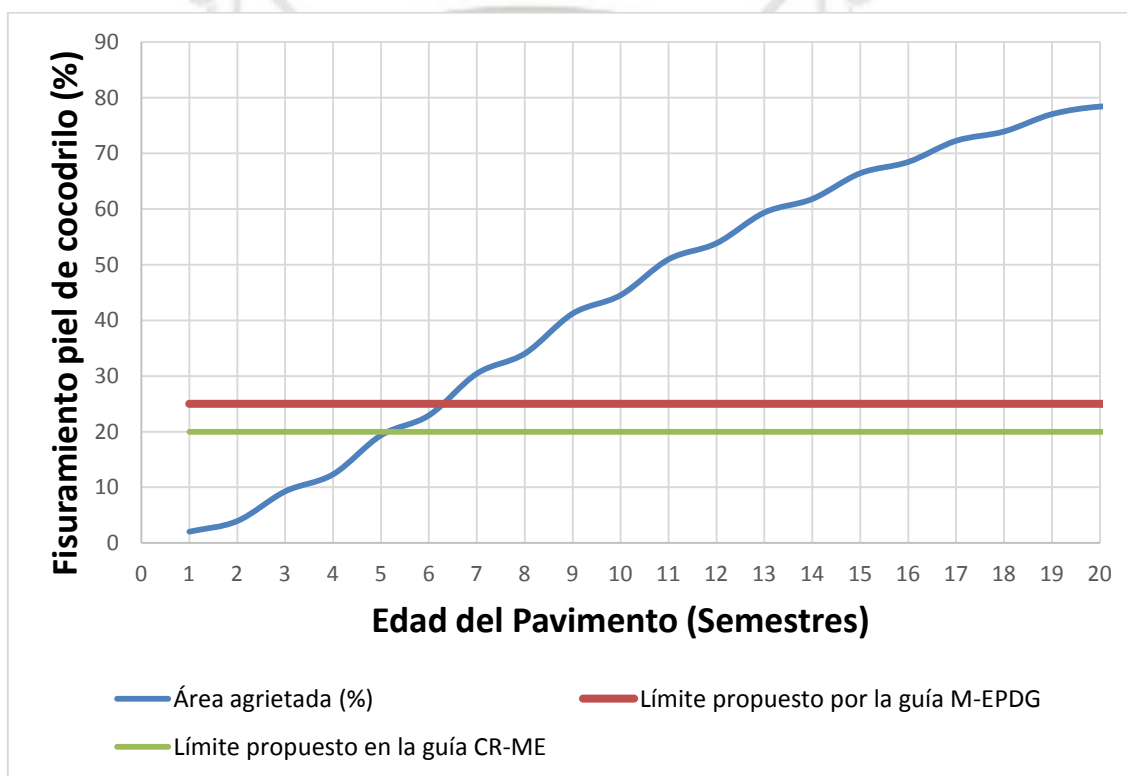
En la **Tabla Nº 5.17** del **Capítulo V** se presenta los resultado del análisis de la evaluación a la estructura de pavimento existente en la Avenida Hartley verificando si estas son aceptable o no.

En el diseño de prueba se evidencia como la estructura de pavimento flexible falla por agrietamiento de cocodrilo a los 4 años (8 semestres) y por agrietamiento longitudinal a los 5.5 años (11 semestres) a partir del año base de evaluación, es decir, no se cumple con la vida útil de diseño,

haciendo indispensable la intervención del pavimento aras a cumplir con todos los criterios de desempeño.

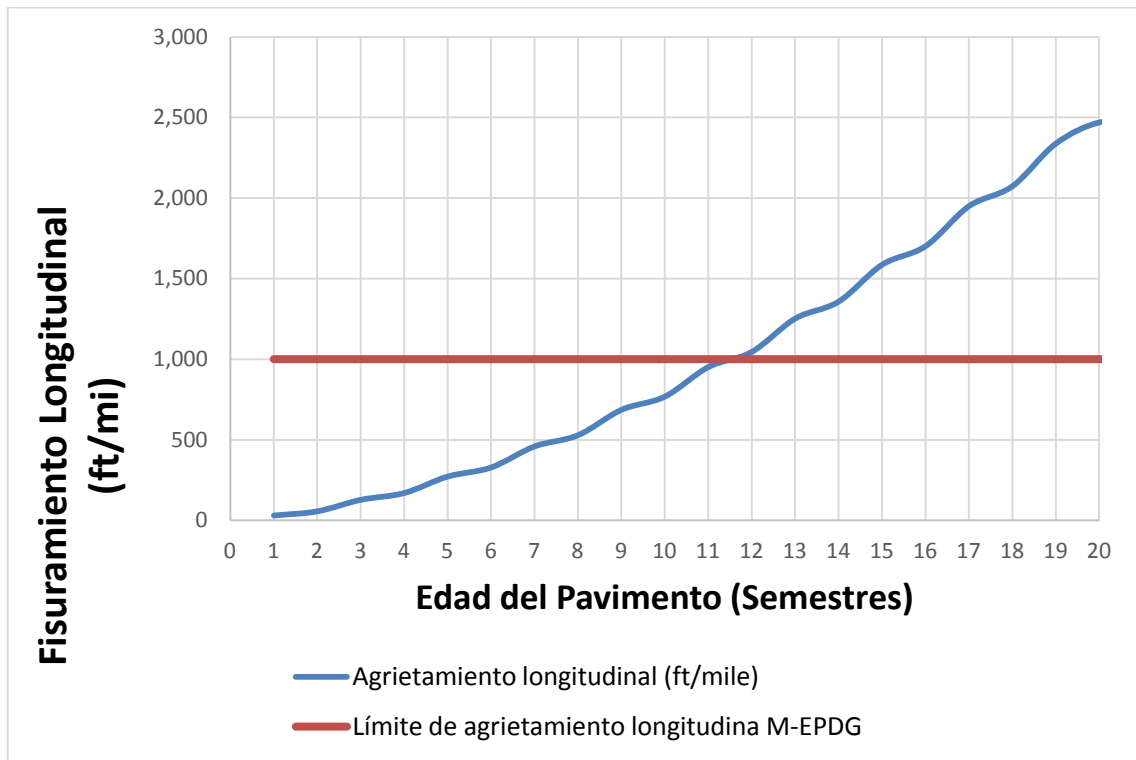
- A continuación se presentan los gráficos por tipo de falla, por cada semestre durante el periodo de vida del pavimento.

**Figura N° 6.11 Fisuramiento Piel de Cocodrilo**



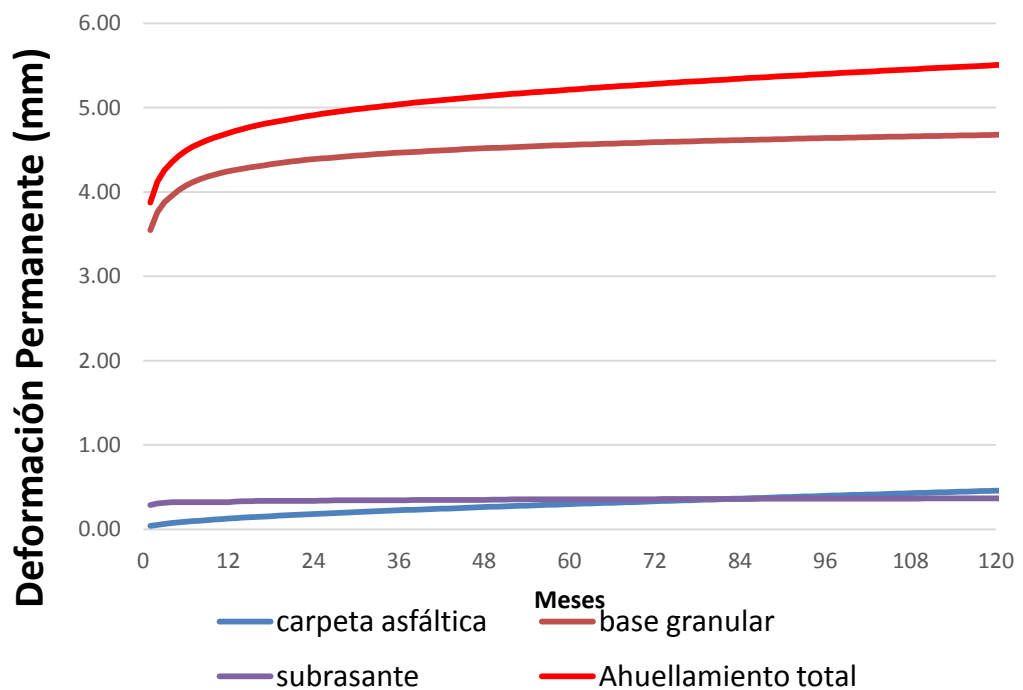
**Fuente: Elaboración Propia basada en Interfaz Gráfica CR-ME**

Figura N° 6.12 Fisuramiento Longitudinal (ft/mi)



Fuente: Elaboración Propia basada en Interfaz Gráfica CR-ME

Figura N° 6.13 De formación Permanente en cada capa y total



#### 6.4. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PLANTEADA

Culminado el proceso de análisis de la estructura del pavimento, se establece el diagnóstico sobre las posibles causas de los deterioros observados y el comportamiento de su desempeño durante su periodo de vida, y se procederá a diferenciar entre los que son indicativos de un deficiente comportamiento estructural del pavimento y aquellos otros que, en principio, solo afectan a la superficie del pavimento.

*El análisis considera la condición de comodidad y seguridad del pavimento, su nivel de deterioro superficial y la capacidad estructural de pavimento y su adecuación al tráfico que va ser sometido.*

**ALTERNATIVA 01: Fresado de Carpeta Asfáltica + Colocación de Refuerzo Asfáltico de 2” y reconformación de berma.**

##### **Paso 1:**

El fresado es una técnica que permite retirar controladamente el pavimento asfáltico con la finalidad de uniformizar la superficie del pavimento actual. Se plantea realizar el fresado de 1” de profundidad. El material debe ser retirado de la obra y almacenado en una planta para reutilización (Reciclado de asfalto RAP=Recycling Asphalt Pavement).

##### **Paso 2:**

En la Carpeta Asfáltica existente que queda se realizará tratamiento de fisuras y parchados.

Sello de grietas mayores a 6 mm con mortero asfáltico y grietas menores de 6 mm con liante asfáltico, utilizando emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1h para ambos casos.

Parchados superficiales y parchados profundos con mezcla asfáltica en caliente. La imprimación de los parchados se realizarán con asfalto líquido MC-30, posteriormente se realizará el riego de la liga en toda la superficie utilizando emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1h, previo a esta actividad se deberá limpiar la superficie de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto empleando para esto barredoras, sopladoras mecánicas y escobas manuales.

**Paso 3:**

Colocación de la Mezcla Asfáltica en Caliente Nueva de 2" previa verificación del curado del riego previo.

**ALTERNATIVA 02: Capa Nivelante (Funcional) + colocación de refuerzo asfáltico y reconformación de bermas.**

**Paso 1:**

La capa nivelante permite corregir las deformaciones permanentes localizadas en la superficie del pavimento, generalmente en la zona de rodamiento de las llantas de los vehículos, para cubrir esta irregularidad, se distribuirá la mezcla en un espesor de 1" – hasta 2" según necesidad. Esta capa actuará como regulador de las deformaciones existentes en la superficie del pavimento.

**Paso 2:**

La colocación de la Mezcla Asfáltica en Caliente (refuerzo funcional-capa nivelante y refuerzo estructural) se realizara previa a la ejecucion de los siguientes trabajos:

Sello de grietas mayores a 6 mm con mortero asfáltico y grietas menores de 6 mm con liante asfaltico, utilizando emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1h para ambos casos.

Parchados superficiales y parchados profundos con mezcla asfáltica en caliente. La imprimación de los parchados se realizaran con asfalto liquido MC-30, posteriormente se realizará el riego de la liga en toda la superficie utilizando emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1h, previo a esta actividad se deberá limpiar la superficie de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto empleando para esto barredoras, sopladoras mecánicas y escobas manuales.

**Paso 3:**

Colocación de la Mezcla Asfáltica en Caliente previa verificación del curado del riego previo.

- ❖ En ambas alternativas se recomienda la conformación de bermas dañadas o en su totalidad, la berma será escarificada en 15 cm de profundidad y se adicionará 5 cm de material, luego se mezclará, conformará y compactará en una sola capa.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

1. La evaluación deflectométrica usando la viga Benkelman nos permitió hallar valores de deflectometría medidas a nivel de carpeta asfáltica y nos permitió verificar la condición estructural del pavimento, considerando el método CONREVIAl, la deflexión característica debe ser menor a la deflexión admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), de acuerdo a los cálculos realizados en el presente trabajo de tesis la deflexión característica del pavimento que se obtuvo es  $75 \text{ mm}^{-2}$  y es mayor a la deflexión admisible que es  $64 \text{ mm}^{-2}$ , por lo tanto podemos concluir que existen fallas de origen estructural en el pavimento en estudio.
2. La implementación del método mecanístico – empírico de diseño de pavimentos AASHTO 2008 nos permitió determinar la influencia estructural de las distintas capas o elementos estructurales, siendo una herramienta que nos permite analizar el deterioro del pavimento a lo largo de su vida útil, la evaluación realizada nos muestra que la estructura del pavimento flexible falla por agrietamiento de piel de cocodrilo a los 4 años y por agrietamiento longitudinal a los 5.5 años a partir de año base de evaluación, es decir que **no cumple** con la vida útil del diseño existente.
3. La evaluación superficial del pavimento con la metodología Pavement Condition Index (PCI) nos permitió clasificar el estado de conservación en



el que se encuentran los pavimentos flexibles, así como también el tipo de fallas que presentan, a fin de realizar el tratamiento que corresponda. El PCI promedio del pavimento flexible de la Avenida Hartley es **28 %** siendo éste clasificado como un estado **Pobre** y según este resultado, el manual del PCI nos indica que el tramo evaluado requiere realizar un **mantenimiento correctivo y/o la rehabilitación moderada** de la vía con el fin de restablecer la capacidad estructural y funcional del pavimento.

4. El modelo matemático de Hogg desarrollado nos permite caracterizar los materiales del sistema pavimento-subrasante en base al análisis e interpretación de las curvas de deflexiones. De este método se calculó el **CBR** de la subrasante el cual nos dio **10.3%** y usando la fórmula propuesta por la guía AASHTO 2008 se obtuvo un Mr de **11366 lb/pulg<sup>2</sup>** que nos representa un resultado más real observado en campo.
5. El muestreo y la evaluación de la estructura del pavimento nos dio todas las características de la carpeta asfáltica, base y subrasante como también el nivel de condición en la que se encuentra el pavimento y la cantidad de deterioros encontrados y finalmente la deflexión característica.
6. La metodología de cálculo de refuerzo asfáltico por el método CONREVIAl y Modelo matemático de HOOG para el tráfico de diseño de  **$7.06 \times 10^6$** , basado en ensayos no destructivos, no reemplaza la importancia de efectuar estudio geotécnicos y ensayos de suelos,

Sin embargo, los ensayos no destructivos nos permiten “ahorrar” tiempo en el proceso de evaluación de pavimento.

7. Mediante métodos analíticos tanto CONREVIAl como Modelo de Hogg se ha optado por el Diseño de refuerzos asfálticos (recapado asfáltico) obteniendo según la metodología CONREVIAl el espesor de refuerzo de **1.5 pulg.** y según Modelo de Hogg el espesor de **2 pulg.**
8. El diseño del recapado y de las alternativas propuestas se tiene como fin minimizar el espesor de los materiales proporcionando la mayor capacidad estructural por unidad de costo, aprovechar la estructura de los pavimentos existentes en los tramos ya construidos, impactar lo menos posible el medio ambiente, facilitar y minimizar las tareas de mantenimiento rutinario y preventivo a lo largo del período de servicio del pavimento y optimizar su construcción tomando en cuenta los procedimientos constructivos aplicables en país.

## 7.2. RECOMENDACIONES

1. La evaluación deflectométrica son muy sensibles al procedimiento de medición por lo cual debe tomarse mucho cuidado en seguirlo en forma cuidadosa y de contar con personal debidamente capacitado. El error en las lecturas puede llevar a un juicio equivocado de la capacidad estructural del pavimento

2. El criterio de deflexiones admisibles debe tomarse con sumo cuidado, puesto que utilizan formulas empíricas muy sensibles y que dependen de las condiciones zonales para los cuales fueron desarrollados. Es necesario analizar complementarios métodos racionales para verificar las capacidades estructurales del pavimento.
3. La guía del método mecanístico – empírico de diseño de pavimentos AASHTO 2008 trata en lo posible seguir la lógica observada en campo, aunque aun necesitan de una calibración para ser usadas en distintas regiones de EE.UU. Se recomienda que en el Perú se empiece con la mejora de centros de ensayo para poder usar, calibrar y verificar la guía del método mecanístico – empírico para pavimentos nuevos y rehabilitados.
4. Considerar mas estaciones climáticas para tener una base datos climáticos en nuestro país, que nos facilite la calibración del MEPDG. Para futuros estudios en este tema de calibración, se recomienda hacer un estudio a por lo menos 10 tipos de pavimento flexibles los cuales estén en diferentes puntos del Perú y así obtener coeficientes de calibración por regiones.
5. Considerando un diseño de refuerzo se recomienda un buen relevamiento de fallas y estudios a las fallas con mas unidades de muestreo o en toda la vía, ya que es probable de que no se necesite un tratamiento de fisuras

y refuerzo asfáltico, sino la reconstrucción de toda la estructura del pavimento.

6. Se debe programar tareas de evaluación de niveles de servicio, mantenimiento rutinario y periódico para garantizar que el pavimento se conserve estructuralmente y funcionalmente durante su período de vida.
7. Futuros trabajos de investigación deben orientarse a ensayos indirectos que evalúen la capacidad de soporte del terreno de subrasante y que permita mayores y mejores datos obtenidos en el menor tiempo posible.

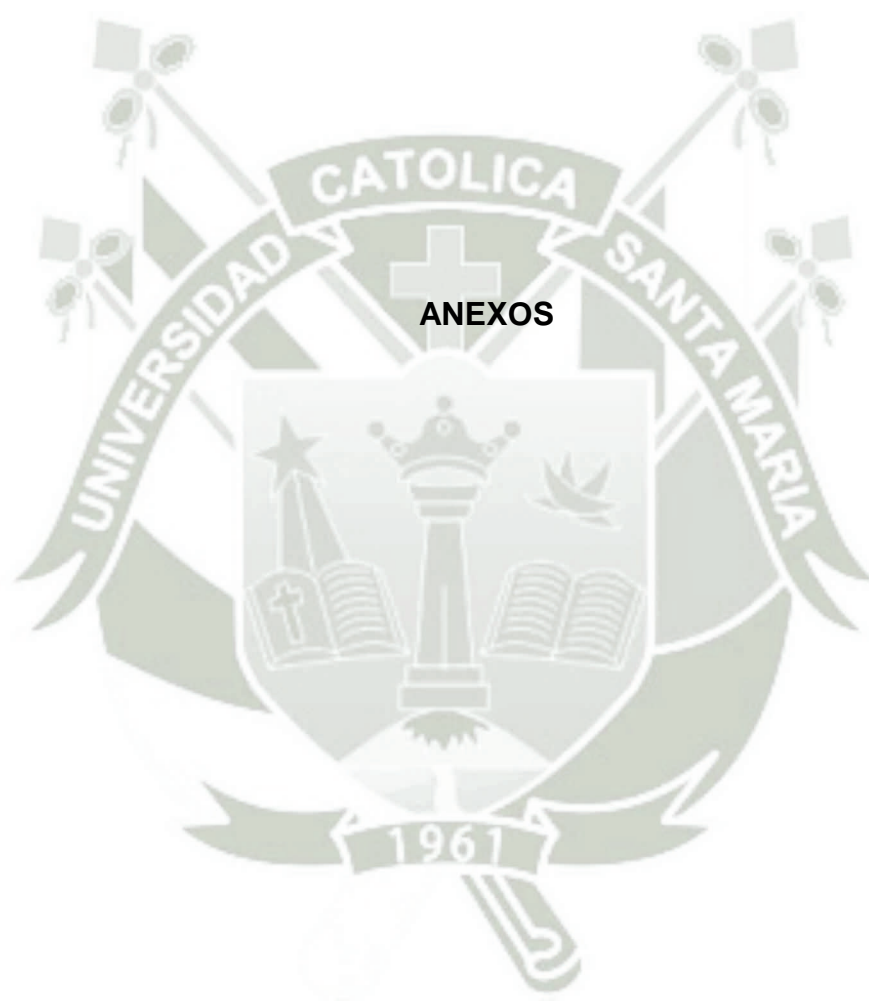


## BIBLIOGRAFIA

- Chang M. Carlos. (2007). *Pavimentos un enfoque al futuro*. (2da. ed.). Lima: Fondo Editorial ICG.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2008). *Guía de diseño mecanístico – empírico de pavimentos. Manual práctico*. Lima: Fondo Editorial ICG
- Montejo Fonseca A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da ed.). Bogotá: Agora Editores.
- Hoffman, M. (1985). *Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)*. Lima: Louis Berger Internacional inc. Lagesa Ingenieros Consultores.
- Urci Perú Consultores. (2011). *Estudio de mantenimiento periódico de la carretera Panamericana Norte. Tramo II (KM 736+600 – KM 886+600)*, (Vol. 1). Lima
- Minaya G. Silene y Ordoñez H. Abel. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. (2da ed.). Lima
- AASHTO NCHRP. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design Of New And Rehabilitated Pavement Structures*. Illinois: Ara, Inc. ERES
- Figueroa G. Jorge A. (2005). *Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002*. Tesis Ing. Civil. Universidad de El Salvador. San Salvador.
- Baltazar G. Angel, Gutiérrez R. Felipe y Hernández S. Josué. (2014). *Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el*

*método AASHTO 93*. Tesis ingeniero civil, Universidad de El Salvador. San Salvador.

- Flores, L. (2012). *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- MTC y Consorcio de rehabilitación vial CONREVI. (1983). *Estudio de Rehabilitación de carreteras en el País*. (Vol C). Lima
- Jiménez, Milton. (2014). *Diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman*, Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima.
- Cordo, Oscar V. (2007). *Metodología Empírico Mecanístico para el diseño estructural de pavimentos experiencias de calibración para Argentina*. San Juan-Argentina.
- Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – MTC. (2015). *Manual del usuario EVALPAV - software para evaluación de pavimentos en carreteras y aeropuertos de superficie asfáltica, y carreteras no pavimentadas*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayos de materiales para carreteras*, (Ed. 2016). Lima – Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de carreteras sección suelos geología geotecnia y pavimento*. (Ed. 2016). Lima – Perú.





**ANEXO 3.1**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MATERIAL EXISTENTE.**



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**  
NORMA (ASTM D - 4318)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-1
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	jun-16		

**Límite Líquido** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	17	24	37
Recipiente N°	H6	HE2	H3B
Recipiente + Suelo Húmedo (gr.)	38.00	41.80	38.70
Recipiente + Suelo Seco (gr.)	35.80	39.17	36.6
Peso Recipiente (gr.)	26.90	28.20	27.40
Peso Agua (gr.)	2.20	2.63	2.10
Peso Suelo Seco (gr.)	8.90	10.97	9.20
% de Humedad	24.72	23.97	22.83

**Límite Plástico** ASTM D 4318

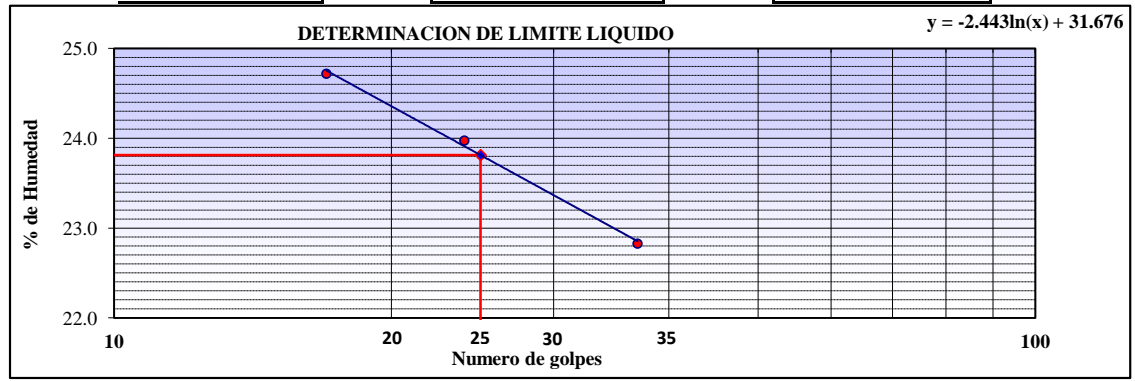
Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
Recipiente + Suelo Húmedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso Recipiente			
Peso Agua			
Peso Suelo Seco			
% de Humedad			

N.P

Límite Líquido 23.8

Límite Plástico NP

I. P. NP



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA (ASTM D - 422)

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25  
 Fecha Ensayo Junio 2016

Identificación C-1 M-1  
 Realizado por Harold Meza Palomino

GRANULOMETRÍA						
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)	Especificación Gradación "D"
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)		
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100				100.0	
1"	25.400	40.5	2.7	2.7	97.3	100
3/4"	19.050	128.1	8.5	11.2	88.8	
1/2"	12.700	60.4	4.0	15.2	84.8	
3/8"	9.525	95.0	6.3	21.5	78.5	60-100
1/4"	6.350	121.7	8.1	29.6	70.4	
N° 4	4.760	53.2	3.5	33.1	66.9	50-85
N° 6	3.360	33.2	2.4	35.5	64.5	
N° 8	2.380	33.2	2.4	37.9	62.1	
N° 10	2.000	44.3	3.1	41.0	59.0	40-70
N° 16	1.190	30.8	2.2	43.2	56.8	
N° 20	0.840	72.0	5.1	48.3	51.7	
N° 30	0.590	57.9	4.1	52.4	47.6	
N° 40	0.426	56.8	4.0	56.4	43.6	25-45
N° 50	0.297	76.2	5.4	61.8	38.2	
N° 80	0.177	107.1	7.6	69.4	30.6	
N° 100	0.149	30.0	2.1	71.5	28.5	
N° 200	0.074	176.8	12.6	84.1	15.9	8-15
- N° 200	-	224.1	15.9	100.0	-	

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO**  
 Material Granular, arena limosa. forma angular, poco dura, textura rugosa a lisa, tamaño máx. de 1 1/2"; con un 51% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla N°200 en un 15.9%, no plástico (LL= 23.8%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.

D<sub>10</sub> : 0.074    D<sub>30</sub> : 0.169    D<sub>60</sub> : 0.074    C<sub>u</sub> : 1.000    C<sub>c</sub> : 5.185

**CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

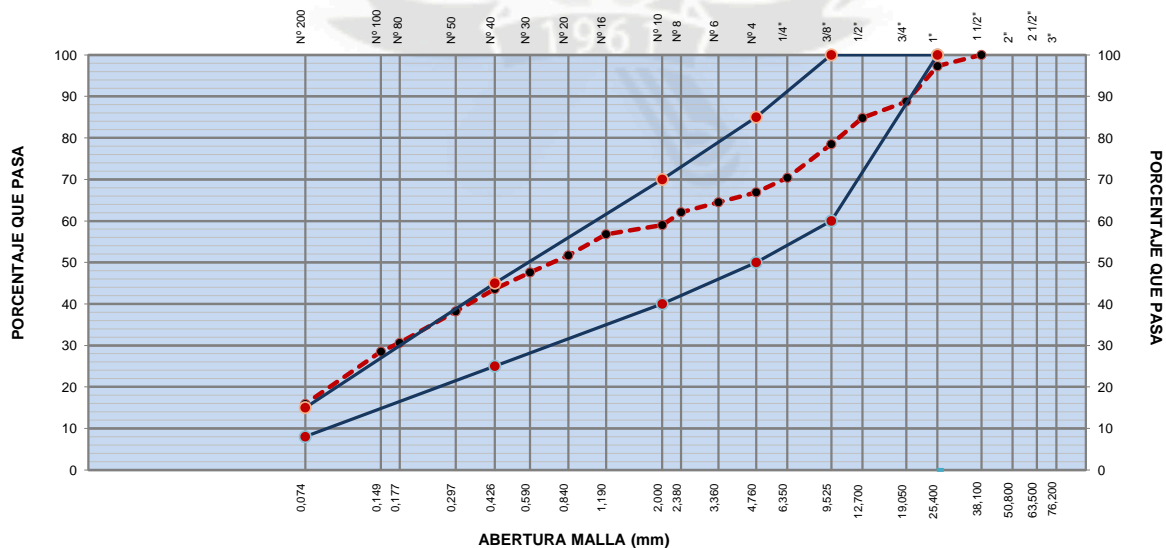
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	<b>23.8</b>
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	<b>NP</b>
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	<b>NP</b>
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	<b>SM</b>
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	<b>A-1-b (0)</b>
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	<b>3.6</b>

**OBSERVACIONES:**  
 - Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza

**DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO**

- PESO TOTAL, gr.	1501.1	100.0 %
- PESO GRAVA, gr.	498.9	33.1 %
- PESO ARENA, gr.	1002.2	66.9 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	942.4	

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**  
NORMA ( ASTM D - 4318 )

Muestra SUELOS Identificación C-1 M-2  
 Procedencia CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60 Realizado por H. Meza P.  
 Fecha Ensayo Junio 2016

**Límite Líquido** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	15	22	34
Recipiente N°	H1	H3	H2
Recipiente + Suelo Húmedo (gr.)	36.90	41.70	41.80
Recipiente + Suelo Seco (gr.)	35.00	38.90	39.2
Peso Recipiente (gr.)	27.30	27.20	27.80
Peso Agua (gr.)	1.90	2.80	2.60
Peso Suelo Seco (gr.)	7.70	11.70	11.40
% de Humedad	24.68	23.93	22.81

**Límite Plástico** ASTM D 4318

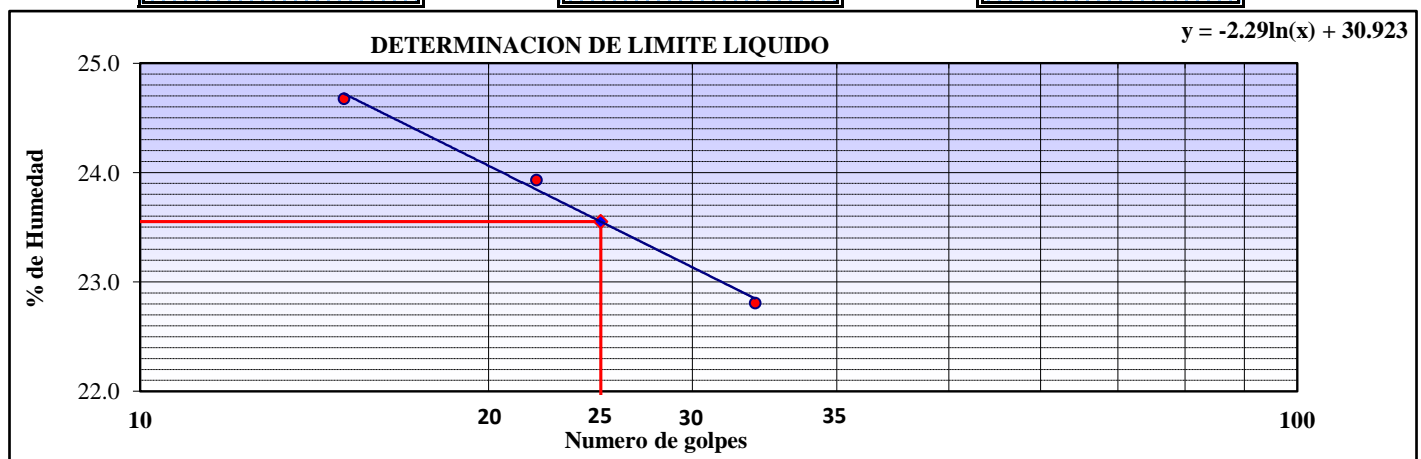
Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
Recipiente + Suelo Húmedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso Recipiente			
Peso Agua			
Peso Suelo Seco			
% de Humedad			

N.P

Límite Líquido 23.6

Límite Plástico NP

I. P. NP



PROYECTO : Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

NORMA ( ASTM D - 422 )

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60  
 Fecha Ensayo Junio 2016

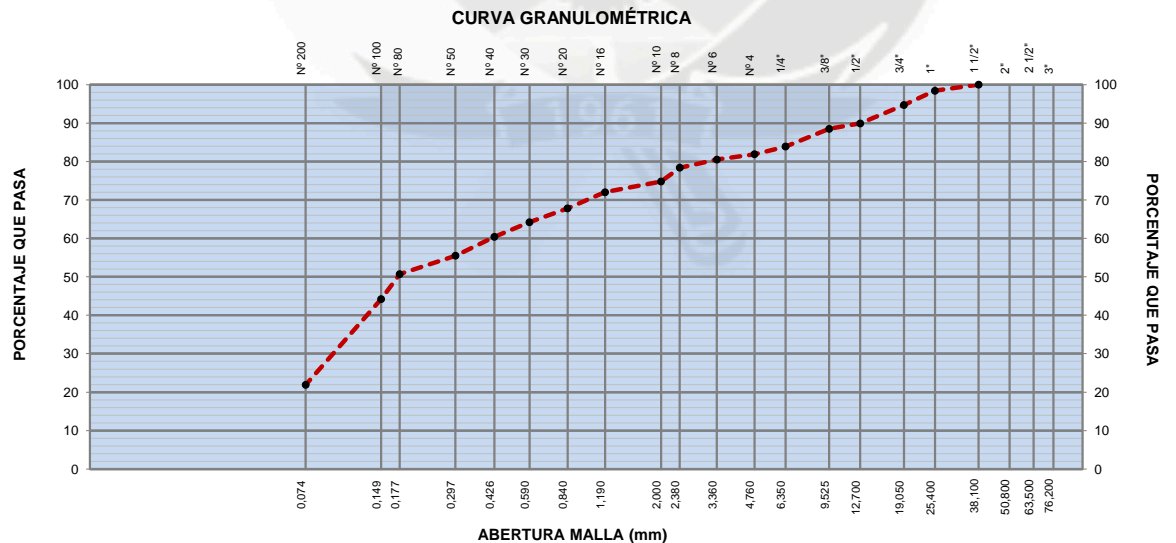
Identificación C-1 M-2  
 Realizado por Harold Meza Palomino

GRANULOMETRÍA					
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)	
3"	76.200				3"
2 1/2"	63.500				2 1/2"
2"	50.800				2"
1 1/2"	38.100				1 1/2"
1"	25.400	24.9	1.6	1.6	98.4
3/4"	19.050	58.1	3.7	5.3	94.7
1/2"	12.700	74.2	4.8	10.1	89.9
3/8"	9.525	21.1	1.4	11.5	88.5
1/4"	6.350	72.3	4.6	16.1	83.9
N° 4	4.760	31.8	2.0	18.1	81.9
N° 6	3.360	19.5	1.4	19.5	80.5
N° 8	2.380	29.4	2.1	21.6	78.4
N° 10	2.000	50.0	3.6	25.2	74.8
N° 16	1.190	38.9	2.8	28.0	72.0
N° 20	0.840	58.5	4.2	32.2	67.8
N° 30	0.590	49.2	3.6	35.8	64.2
N° 40	0.426	52.4	3.8	39.6	60.4
N° 50	0.297	68.4	4.9	44.5	55.5
N° 80	0.177	66.9	4.8	49.3	50.7
N° 100	0.149	89.7	6.5	55.8	44.2
N° 200	0.074	308.3	22.3	78.1	21.9
- N° 200	-	303.0	21.9	100.0	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO				
Arena limosa. tamaño máx. de 1 1/2"; con un 60% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla N°200 en un 21.9%, no plástico (LL= 23.6%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.				
D <sub>10</sub> : 0.074	D <sub>30</sub> : 0.085	D <sub>60</sub> : 0.074	C <sub>u</sub> : 1.000	C <sub>c</sub> : 1.663
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO				
Limite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	23.6		
Limite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP		
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP		
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	SM		
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	A-2-4 (0)		
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	5.3		

**OBSERVACIONES:**  
 - Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO		
- PESO TOTAL, gr.	1561.0	100.0 %
- PESO GRAVA, gr.	282.4	18.1 %
- PESO ARENA, gr.	1277.8	81.9 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	1132.9	



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA ( ASTM D - 422 )

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.60 - 1.00  
 Fecha Ensayo Junio 2016

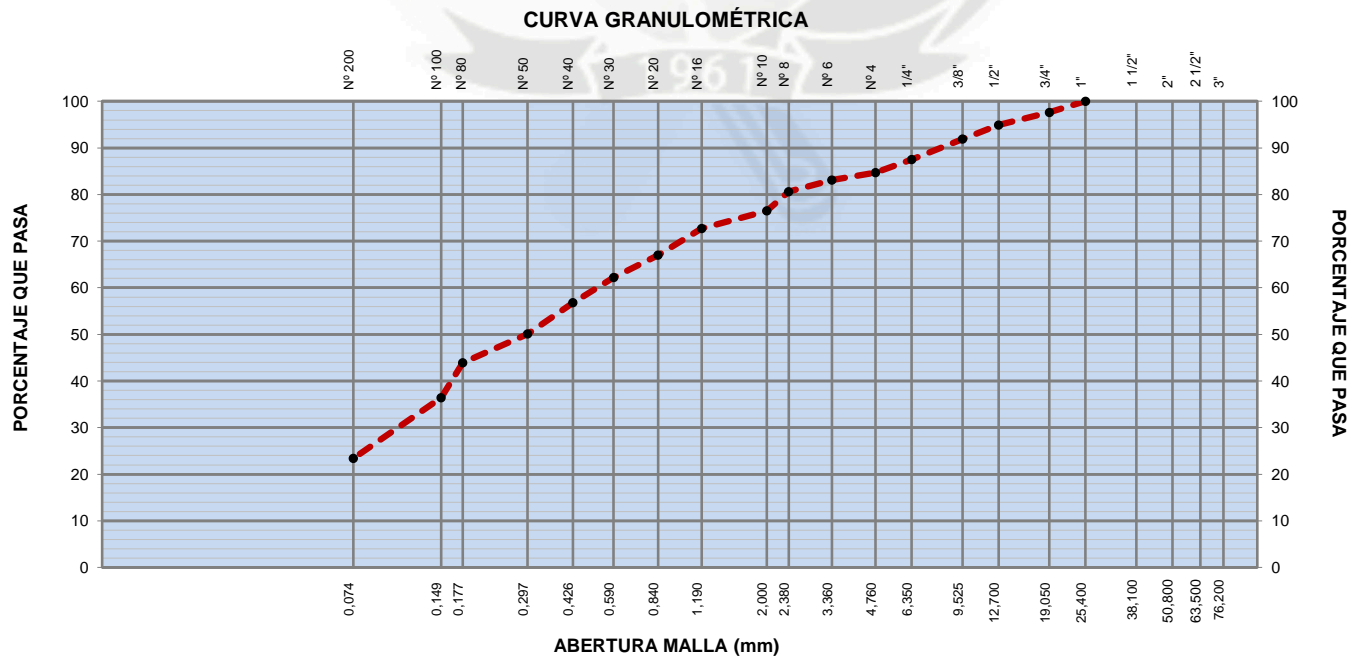
Identificación C-1 M-3  
 Realizado por Harold Meza Palomino

GRANULOMETRÍA					
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	36.5	2.4	2.4	97.6
1/2"	12.700	40.4	2.7	5.1	94.9
3/8"	9.525	45.4	3.0	8.1	91.9
1/4"	6.350	67.0	4.4	12.5	87.5
N° 4	4.760	43.0	2.8	15.3	84.7
N° 6	3.360	23.6	1.6	16.9	83.1
N° 8	2.380	35.5	2.5	19.4	80.6
N° 10	2.000	59.3	4.1	23.5	76.5
N° 16	1.190	55.2	3.8	27.3	72.7
N° 20	0.840	82.8	5.7	33.0	67.0
N° 30	0.590	69.0	4.8	37.8	62.2
N° 40	0.426	77.7	5.4	43.2	56.8
N° 50	0.297	96.5	6.7	49.9	50.1
N° 80	0.177	89.3	6.2	56.1	43.9
N° 100	0.149	108.7	7.5	63.6	36.4
N° 200	0.074	188.7	13.0	76.6	23.4
- N° 200	-	339.5	23.4	100.0	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO				
Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 61.3% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla N°200 en un 23.4%, no plástico (LL= 22.1%, IP= NP); húmedo, semi compacto, color marrón claro.				
D <sub>10</sub> : 0.074	D <sub>30</sub> : 0.106	D <sub>60</sub> : 0.074	C <sub>u</sub> : 1.000	C <sub>c</sub> : 2.035
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	22.1		
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP		
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP		
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	SM		
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	A-2-4 (0)		
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	11.7		

**OBSERVACIONES:**  
 - Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO		
- PESO TOTAL, gr.	1519.5	100.0 %
- PESO GRAVA, gr.	232.3	15.3 %
- PESO ARENA, gr.	1286.2	84.7 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	1225.8	



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates

PROYECTO : Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**  
NORMA (ASTM D - 4318)

Muestra SUELOS Identificación C-2 M-1  
 Procedencia CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25 Realizado por H. Meza P.  
 Fecha Ensayo Julio 2016

**Límite Líquido** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	15	20	31
Recipiente N°	H91	H83	H74
Recipiente + Suelo Húmedo (gr.)	38.60	40.70	37.10
Recipiente + Suelo Seco (gr.)	36.50	38.2	35.6
Peso Recipiente (gr.)	27.20	26.60	28.00
Peso Agua (gr.)	2.10	2.50	1.50
Peso Suelo Seco (gr.)	9.30	11.60	7.60
% de Humedad	22.58	21.55	19.74

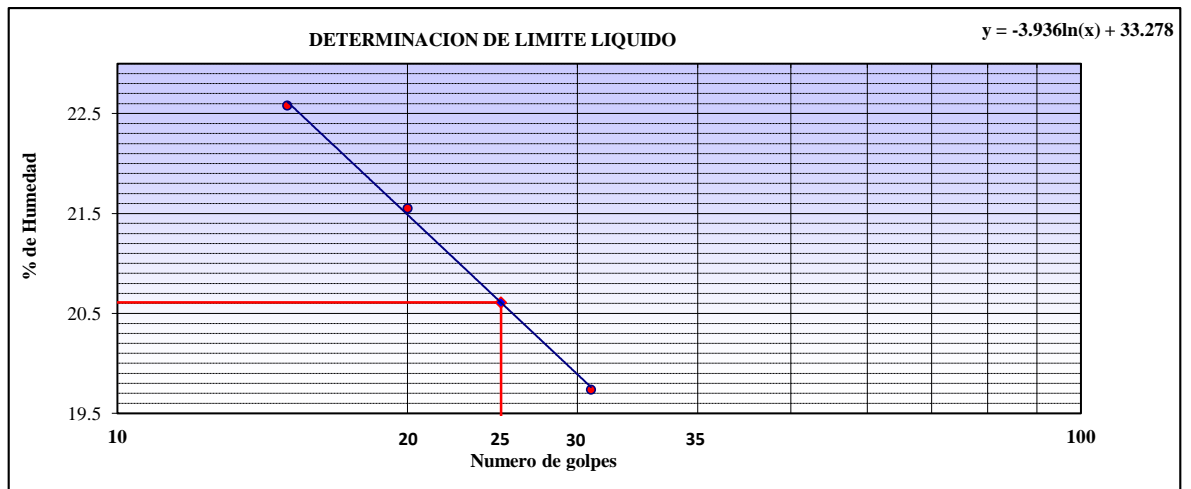
**Límite Plástico** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
Recipiente + Suelo Húmedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso Recipiente			
Peso Agua			
Peso Suelo Seco			
% de Humedad			

Límite Líquido 20.6

Límite Plástico NP

L. P. NP



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
NORMA ( ASTM D - 422 )

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-1
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

GRANULOMETRÍA						
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)	Especificación Gradación "D"
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)		
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100				100.0	
1"	25.400	278.8	9.4	9.4	90.6	100
3/4"	19.050	181.8	6.1	15.5	84.5	
1/2"	12.700	232.5	7.8	23.3	76.7	
3/8"	9.525	99.4	3.3	26.6	73.4	60-100
1/4"	6.350	82.4	2.8	29.4	70.6	
N° 4	4.760	76.1	2.6	32.0	68.0	50-85
N° 6	3.360	29.9	1.3	33.3	66.7	
N° 8	2.380	44.8	2.0	35.3	64.7	
N° 10	2.000	74.9	3.3	38.6	61.4	40-70
N° 16	1.190	74.8	3.3	41.9	58.1	
N° 20	0.840	112.4	4.9	46.8	53.2	
N° 30	0.590	98.8	4.4	51.2	48.8	
N° 40	0.426	110.4	4.9	56.1	43.9	25-45
N° 50	0.297	139.1	6.1	62.2	37.8	
N° 80	0.177	178.0	7.8	70.0	30.0	
N° 100	0.149	119.3	5.3	75.3	24.7	
N° 200	0.074	281.9	12.4	87.7	12.3	8-15
- N° 200	-	280.0	12.3	100.0	-	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO				
Material granular en matriz arena limosa, forma angular, tamaño máx. de 1 1/2"; con un 55.7% de arena de grano fino a medio; material fino pasante la malla N°200 en un 12.3%, no plástico (LL= 20.7%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.				
D <sub>10</sub> : 0.074	D <sub>30</sub> : 0.177	D <sub>60</sub> : 0.074	C <sub>u</sub> : 1.000	C <sub>c</sub> : 5.721

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO			
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	20.7	
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP	
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	NP	
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	SM	
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	A-1-b (0)	
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	3.1	

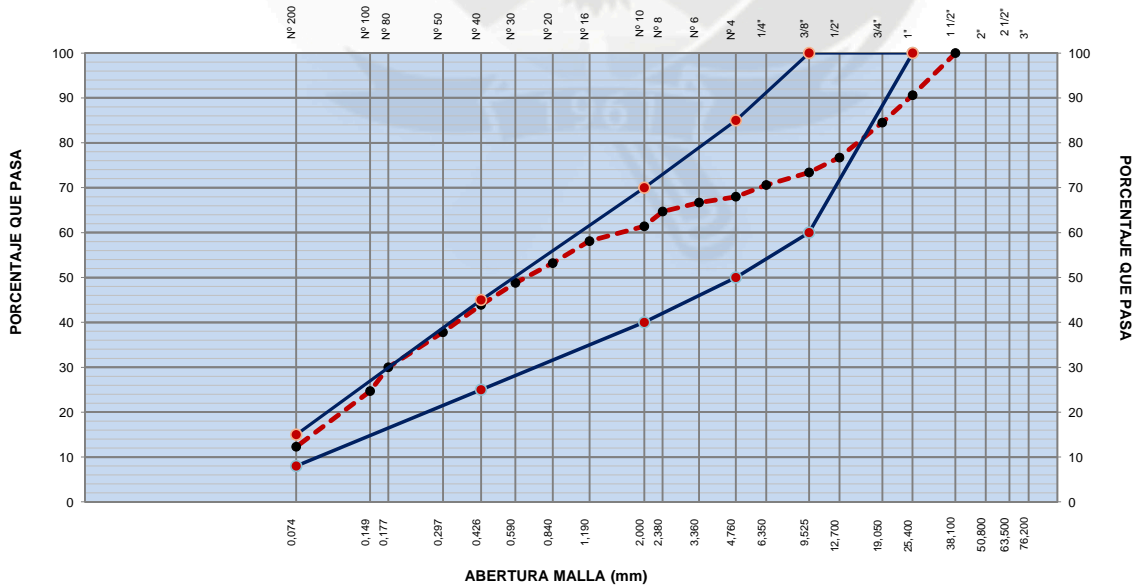
  

OBSERVACIONES:			
- Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza			

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO			
- PESO TOTAL, gr.	2981.5	100.0 %	
- PESO GRAVA, gr.	951.0	32.0 %	
- PESO ARENA, gr.	2030.5	68.0 %	
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	1544.3		

CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates



PROYECTO : Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**  
NORMA ( ASTM D - 4318 )

Muestra SUELOS Identificación C-2 M-2  
 Procedencia CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.25 - 0.60 Realizado por H. Meza P.  
 Fecha Ensayo Junio 2016

**Límite Líquido** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	14	18	30
Recipiente N°	H25	H21	H45
Recipiente + Suelo Húmedo (gr.)	45.50	43.40	40.60
Recipiente + Suelo Seco (gr.)	41.90	40.3	38.8
Peso Recipiente (gr.)	27.20	27.00	30.40
Peso Agua (gr.)	3.60	3.10	1.80
Peso Suelo Seco (gr.)	14.70	13.30	8.40
% de Humedad	24.49	23.31	21.43

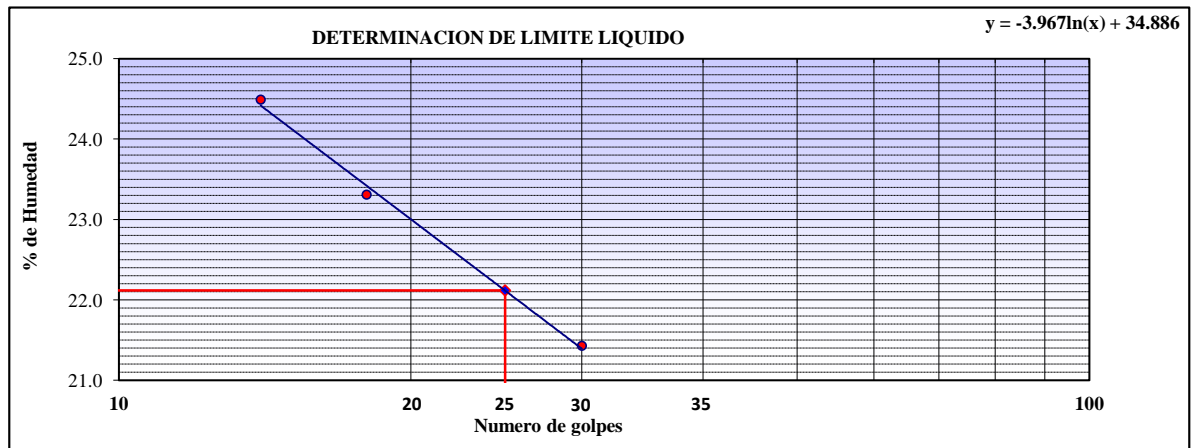
**Límite Plástico** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
Recipiente + Suelo Húmedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso Recipiente			
Peso Agua			
Peso Suelo Seco			
% de Humedad			

Límite Líquido 22.1

Límite Plástico NP

I. P. NP



PROYECTO : Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA ( ASTM D - 422 )

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.25 - 0.60  
 Fecha Ensayo Junio 2016

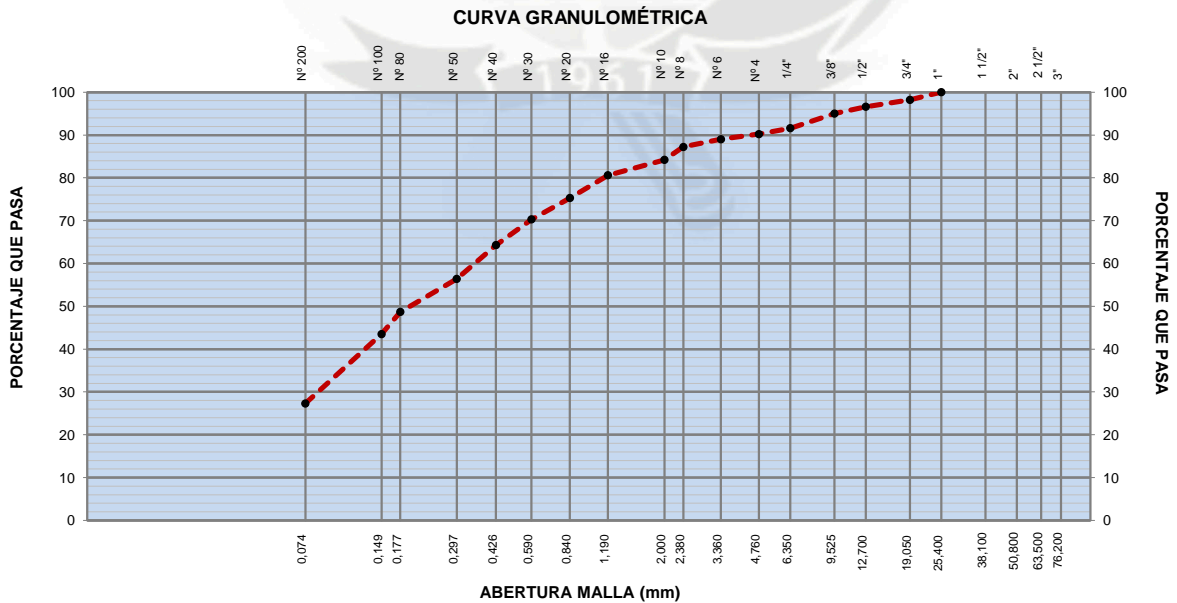
Identificación C-2 M-2  
 Realizado por Harold Meza Palomino

GRANULOMETRÍA					
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	27.4	1.8	1.8	98.2
1/2"	12.700	24.2	1.6	3.4	96.6
3/8"	9.525	24.2	1.6	5.0	95.0
1/4"	6.350	51.8	3.4	8.4	91.6
N° 4	4.760	20.9	1.4	9.8	90.2
N° 6	3.360	16.8	1.2	11.0	89.0
N° 8	2.380	25.3	1.8	12.8	87.2
N° 10	2.000	42.1	3.0	15.8	84.2
N° 16	1.190	50.7	3.6	19.4	80.6
N° 20	0.840	76.0	5.3	24.7	75.3
N° 30	0.590	70.6	5.0	29.7	70.3
N° 40	0.426	85.3	6.0	35.7	64.3
N° 50	0.297	113.1	7.9	43.6	56.4
N° 80	0.177	109.9	7.7	51.3	48.7
N° 100	0.149	73.4	5.2	56.5	43.5
N° 200	0.074	230.6	16.2	72.7	27.3
- N° 200	-	389.6	27.3	100.0	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO				
Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 62.9% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla N°200 en un 27.3%, no plástico (LL= 22.1%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón.				
D <sub>10</sub> : 0.074	D <sub>30</sub> : 0.083	D <sub>60</sub> : 0.074	C <sub>u</sub> : 1.000	C <sub>c</sub> : 1.263
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	<b>22.1</b>		
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	<b>NP</b>		
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	<b>NP</b>		
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	<b>SM</b>		
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	<b>A-2-4 (0)</b>		
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	<b>5.0</b>		

**OBSERVACIONES:**  
 - Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO		
- PESO TOTAL, gr.	1516.5	100.0 %
- PESO GRAVA, gr.	148.7	9.8 %
- PESO ARENA, gr.	1368.5	90.2 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	1284.9	



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)**  
NORMA ( ASTM D - 4318 )

Muestra SUELOS Identificación C-2 M-3  
 Procedencia CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.60 - 1.10 Realizado por H. Meza P.  
 Fecha Ensayo Junio 2016

**Límite Líquido** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	15	20	27
Recipiente N°	H7	H4	H8
Recipiente + Suelo Húmedo (gr.)	35.40	39.00	38.10
Recipiente + Suelo Seco (gr.)	33.50	36.7	36.21
Peso Recipiente (gr.)	25.30	26.40	27.30
Peso Agua (gr.)	1.90	2.30	1.89
Peso Suelo Seco (gr.)	8.20	10.30	8.91
% de Humedad	23.17	22.33	21.21

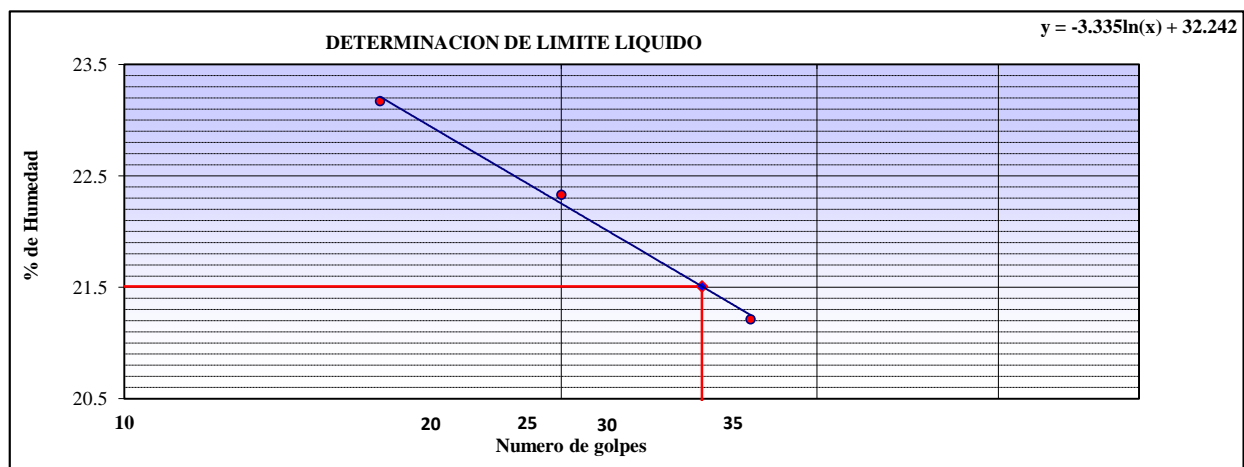
**Límite Plástico** ASTM D 4318

Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
Recipiente + Suelo Húmedo		<b>N.P</b>	
Recipiente + Suelo Seco			
Peso Recipiente			
Peso Agua			
Peso Suelo Seco			
% de Humedad			

Limite Líquido 21.5

Limite Plástico NP

I. P. NP



PROYECTO : Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA ( ASTM D - 422 )

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-3
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.60 - 1.10	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

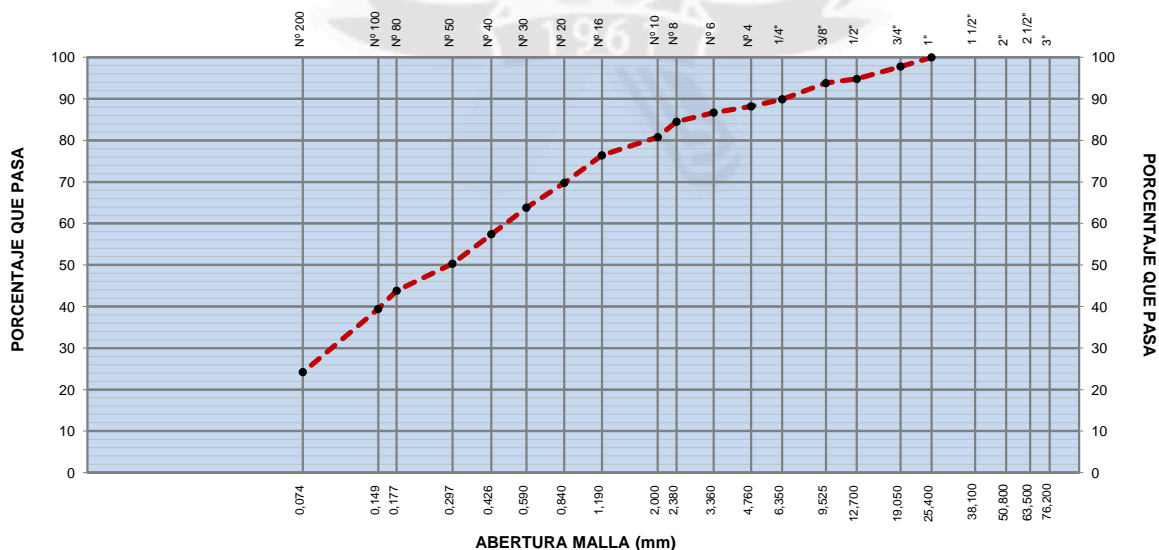
GRANULOMETRÍA					
MALLAS		RETENIDOS			PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (gr.)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	33.8	2.2	2.2	97.8
1/2"	12.700	46.7	3.0	5.2	94.8
3/8"	9.525	15.4	1.0	6.2	93.8
1/4"	6.350	59.7	3.9	10.1	89.9
N° 4	4.760	26.6	1.7	11.8	88.2
N° 6	3.360	20.9	1.5	13.3	86.7
N° 8	2.380	31.4	2.2	15.5	84.5
N° 10	2.000	52.6	3.7	19.2	80.8
N° 16	1.190	63.6	4.4	23.6	76.4
N° 20	0.840	95.3	6.6	30.2	69.8
N° 30	0.590	86.0	6.0	36.2	63.8
N° 40	0.426	92.3	6.4	42.6	57.4
N° 50	0.297	102.9	7.1	49.7	50.3
N° 80	0.177	94.0	6.5	56.2	43.8
N° 100	0.149	62.7	4.4	60.6	39.4
N° 200	0.074	218.4	15.2	75.8	24.2
- N° 200	-	349.3	24.2	100.0	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO	
Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 64% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla N°200 en un 24.2%, no plástico (LL= 21.5%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón.	
D <sub>10</sub> : 0.074	D <sub>30</sub> : 0.097
D <sub>60</sub> : 0.074	C <sub>u</sub> : 1.000
	C <sub>c</sub> : 1.706
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) : <b>21.5</b>
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) : <b>NP</b>
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) : <b>NP</b>
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) : <b>SM</b>
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) : <b>A-2-4 (0)</b>
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) : <b>5.5</b>

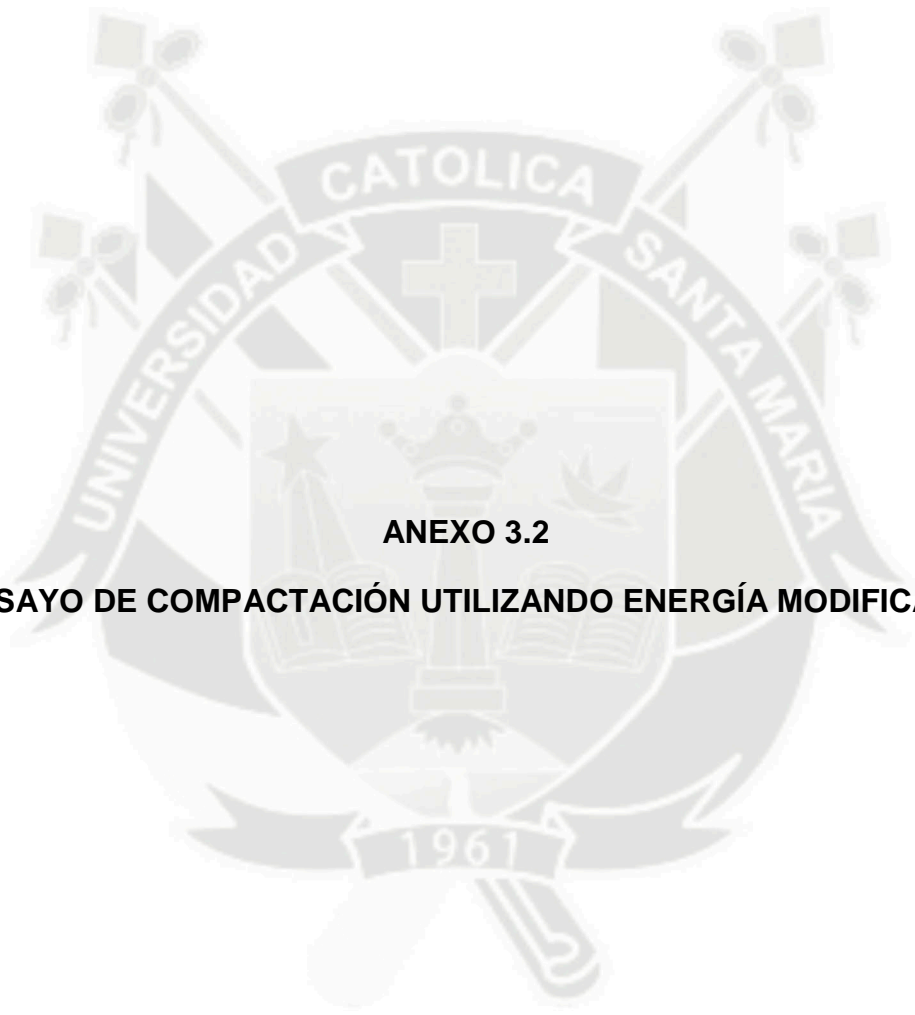
OBSERVACIONES:
- Muestreada e identificada por Bach. Ing. Harold Meza

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO		
- PESO TOTAL, gr.	1544.5	100.0 %
- PESO GRAVA, gr.	182.2	11.8 %
- PESO ARENA, gr.	1361.9	88.2 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA, gr.	1270.7	

### CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia: ASTM D 422-63-02 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates



**ANEXO 3.2**

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA**

PROYECTO : **Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa**

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS**

NORMA (ASTM D - 854)

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 1  
 Fecha Ensayo Junio 2016

Realizado por H. Meza P.

IDENTIFICACIÓN		C1-M1	C1-M2	C1-M3	
MUESTRA		BASE	SUBRASANTE COMPACTADA	SUBRASANTE NATURAL	
<b>A</b>	Peso de Fiola Calibrada (gr.)	154.5	154.5	155.1	
<b>B</b>	Peso de Fiola + Agua Calibrada (gr.)	652.7	652.7	652.7	
<b>C</b>	Peso del Suelo Seco (gr.)	101.4	110.9	114.0	
<b>D</b>	Peso de Fiola + Agua + Suelo (gr.)	713.2	718.9	720.8	
<b>E</b>	Temperatura (C°)	21°	20	21°	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)</b>		<b>2.479</b>	<b>2.481</b>	<b>2.485</b>	

**OBSERVACIONES:** .....

.....

.....

.....

PROYECTO : **Evaluación Deflectometrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa**

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS**

NORMA (ASTM D - 854)

Muestra SUELOS  
 Procedencia CALICATA N° 2  
 Fecha Ensayo Junio 2016

Realizado por H. Meza P.

IDENTIFICACIÓN		C2-M1	C2-M2	C2-M3	
MUESTRA		BASE	SUBRASANTE COMPACTADA	SUBRASANTE NATURAL	
<b>A</b>	Peso de Fiola Calibrada (gr.)	155.4	155.4	155.1	
<b>B</b>	Peso de Fiola + Agua Calibrada (gr.)	652.7	652.7	652.8	
<b>C</b>	Peso del Suelo Seco (gr.)	101.8	107.3	101.9	
<b>D</b>	Peso de Fiola + Agua + Suelo (gr.)	713.6	716.3	712.2	
<b>E</b>	Temperatura (C°)	20°	20°	20°	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)</b>		<b>2.489</b>	<b>2.455</b>	<b>2.398</b>	

**OBSERVACIONES:** .....

.....

.....

.....

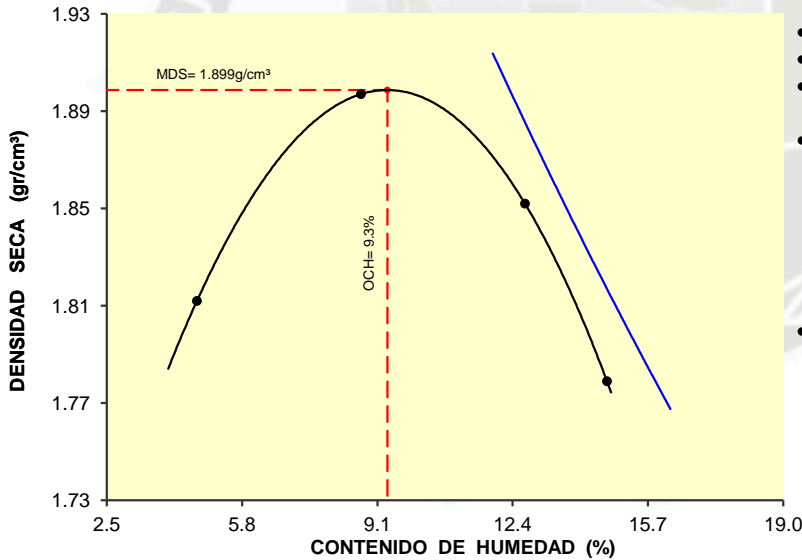
PROYECTO : **Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa**

UBICACIÓN : **AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA**

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-1
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	6841.0	7190.0	7244.0	7145.0				
02 - Masa del Molde (gr.)	2827.7	2827.7	2827.7	2827.7				
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	4013.3	4362.3	4416.3	4317.3				
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2116.0	2116.0	2116.0	2116.0				
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.897	2.062	2.087	2.040				
06 - Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr)	104.2	107.9	88.2	75.4	87.0	80.7	86.9	88.1
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	100.8	104.3	83.4	71.5	80.3	74.8	79.7	80.2
09 - Masa del agua (gr.)	3.5	3.6	4.9	3.9	6.7	6.0	7.3	7.9
10 - Masa del tarro (gr.)	27.1	27.2	27.0	26.9	27.4	27.9	30.4	26.2
11 - Masa suelo seco (gr.)	73.7	77.1	56.4	44.6	52.9	46.9	49.3	54.0
12 - Contenido de Humedad (%)	4.68	4.67	8.61	8.74	12.67	12.70	14.72	14.74
13 - Promedio de Humedad (%)	4.7		8.7		12.7		14.7	
14 - Densidad del Suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.812		1.897		1.852		1.779	



- Método de compactación **"C"**
- Máxima densidad seca, g/cm<sup>3</sup> **1.899**
- Óptimo cont. de humedad, % **9.3**
- Características del espécimen:
  - Masa espec. relat. de sólidos (ASTM D-854) **2.479**
  - Limite líquido, % (ASTM D-4318) **23.0**
  - Índice de plasticidad, % (ASTM D-4318) **NP**
  - Clasificación SUCS (ASTM D-2487) **SM**
  - Clasificación AASHTO (ASTM D-3282) **A-1-b (0)**
- Retenidos acumulados, % :
  - Tamiz 3/4 " (19,050 mm) (ASTM D-422) **11.2**
  - Tamiz 3/8 " (9,525 mm) (ASTM D-422) **21.5**
  - Tamiz N° 4 (4,760 mm) (ASTM D-422) **33.1**
  - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (ASTM D-1140) **16.0**

**Observaciones :**

Material proporcionado e identificado por Bach Ing. Harold Meza



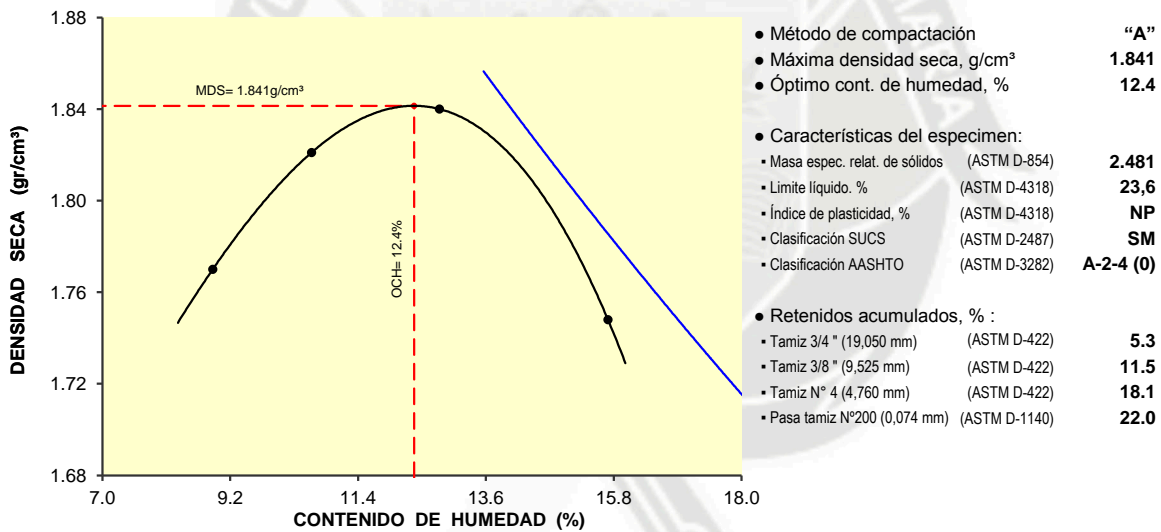
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	3851.0	3932.0	3990.0	3940.5				
02 - Masa del Molde (gr.)	2039.0	2039.0	2039.0	2039.0				
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	1812.0	1893.0	1951.0	1901.5				
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.0	940.0	940.0	940.0				
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.928	2.014	2.076	2.023				
06 - Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr)	136.0	128.5	152.0	165.2	151.5	136.5	143.0	141.0
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	127.2	120.2	139.9	152.1	137.3	124.2	127.3	125.6
09 - Masa del agua (gr.)	8.8	8.3	12.1	13.1	14.2	12.3	15.7	15.4
10 - Masa del tarro (gr.)	28.0	27.5	27.0	27.5	28.0	26.5	27.0	27.5
11 - Masa suelo seco (gr.)	99.2	92.7	112.9	124.6	109.3	97.7	100.3	98.1
12 - Contenido de Humedad (%)	8.87	8.95	10.72	10.51	12.99	12.59	15.65	15.70
13 - Promedio de Humedad (%)	8.9	10.6	12.8	15.7				
14 - Densidad del Suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.770	1.821	1.840	1.748				



**Observaciones :**

Material proporcionado e identificado por Bach. Ing. Harold Meza Palomino

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

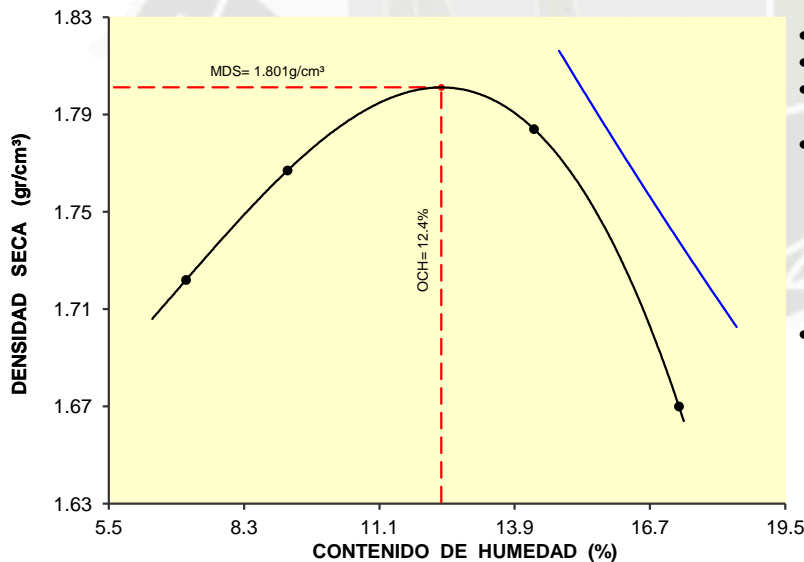
UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**

NORMA (ASTM D - 1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-3
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.60 - 1.00	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	3772.0	3853.5	3955.5	3880.5				
02 - Masa del Molde (gr.)	2039.0	2039.0	2039.0	2039.0				
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	1733.0	1814.5	1916.5	1841.5				
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.0	940.0	940.0	940.0				
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.844	1.930	2.039	1.959				
06 - Tarro N°	127	122	79	94	76	14	1	2
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr.)	150.0	155.0	134.5	141.0	90.5	97.5	182.0	124.0
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	141.8	146.5	125.5	131.5	82.7	88.7	159.2	109.9
09 - Masa del agua (gr.)	8.2	8.5	9.0	9.5	7.8	8.8	22.8	14.1
10 - Masa del tarro (gr.)	27.5	26.5	28.0	27.5	27.0	28.0	28.0	28.0
11 - Masa suelo seco (gr.)	114.3	120.0	97.5	104.0	55.7	60.7	131.2	81.9
12 - Contenido de Humedad (%)	7.17	7.08	9.23	9.14	14.00	14.50	17.38	17.22
13 - Promedio de Humedad (%)	7.1	9.2	14.3	17.3				
14 - Densidad del Suelo Seco (gr./cm <sup>3</sup> )	1.722	1.767	1.784	1.670				



- Método de compactación **"A"**
- Máxima densidad seca, g/cm<sup>3</sup> **1.801**
- Óptimo cont. de humedad, % **12.4**
- Características del espécimen:
  - Masa espec. relat. de sólidos (ASTM D-854) **2.485**
  - Limite líquido, % (ASTM D-4318) **22.1**
  - Índice de plasticidad, % (ASTM D-4318) **NP**
  - Clasificación SUCS (ASTM D-2487) **SM**
  - Clasificación AASHTO (ASTM D-3282) **A-2-4 (0)**
- Retenidos acumulados, % :
  - Tamiz 3/4 " (19,050 mm) (ASTM D-422) **2.4**
  - Tamiz 3/8 " (9,525 mm) (ASTM D-422) **8.1**
  - Tamiz N° 4 (4,760 mm) (ASTM D-422) **15.3**
  - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (ASTM D-1140) **23.0**

**Observaciones :**

Material proporcionado e identificado por Bach. Ing. Harold Meza

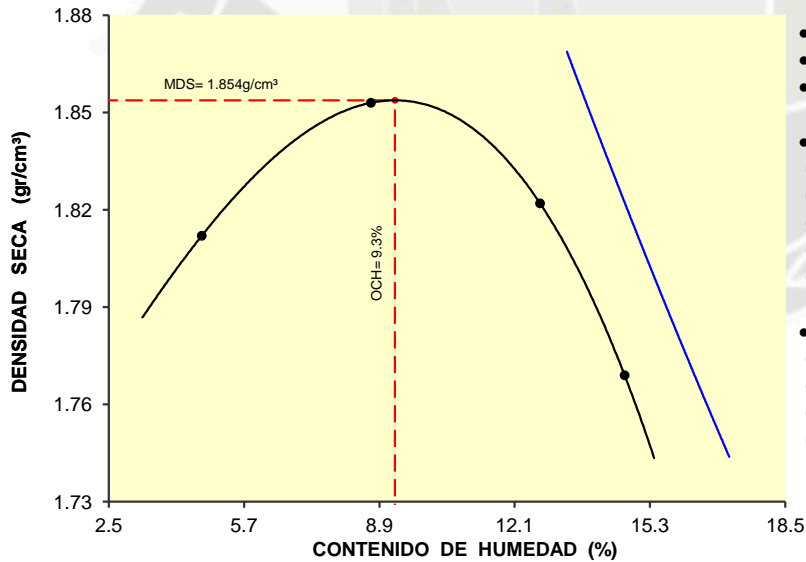
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-1
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	6842.0	7089.0	7171.0	7122.0				
02 - Masa del Molde (gr.)	2827.7	2827.7	2827.7	2827.7				
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	4014.3	4261.3	4343.3	4294.3				
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2116.0	2116.0	2116.0	2116.0				
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.897	2.014	2.053	2.029				
06 - Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr.)	134.8	110.7	118.0	149.0	98.9	103.2	90.5	110.3
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	130.0	106.9	110.7	139.4	90.8	94.6	82.3	99.7
09 - Masa del agua (gr.)	4.8	3.8	7.3	9.6	8.1	8.6	8.3	10.6
10 - Masa del tarro (gr.)	27.8	25.2	27.3	27.7	27.1	27.3	26.1	27.9
11 - Masa suelo seco (gr.)	102.2	81.7	83.4	111.7	63.7	67.3	56.2	71.8
12 - Contenido de Humedad (%)	4.70	4.65	8.75	8.59	12.72	12.78	14.69	14.76
13 - Promedio de Humedad (%)	4.7		8.7		12.7		14.7	
14 - Densidad del Suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.812		1.853		1.822		1.769	



- Método de compactación **"C"**
- Máxima densidad seca, gr/cm<sup>3</sup> **1.854**
- Óptimo cont. de humedad, % **9.3**
- Características del espécimen:
  - Masa espec. relat. de sólidos (ASTM D-854) **2.489**
  - Limite líquido, % (ASTM D-4318) **20.6**
  - Índice de plasticidad, % (ASTM D-4318) **NP**
  - Clasificación SUCS (ASTM D-2487) **SM**
  - Clasificación AASHTO (ASTM D-3282) **A-1-b (0)**
- Retenidos acumulados, % :
  - Tamiz 3/4 " (19,050 mm) (ASTM D-422) **15.5**
  - Tamiz 3/8 " (9,525 mm) (ASTM D-422) **26.6**
  - Tamiz N° 4 (4,760 mm) (ASTM D-422) **32.0**
  - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (ASTM D-1140) **12.0**

Observaciones :

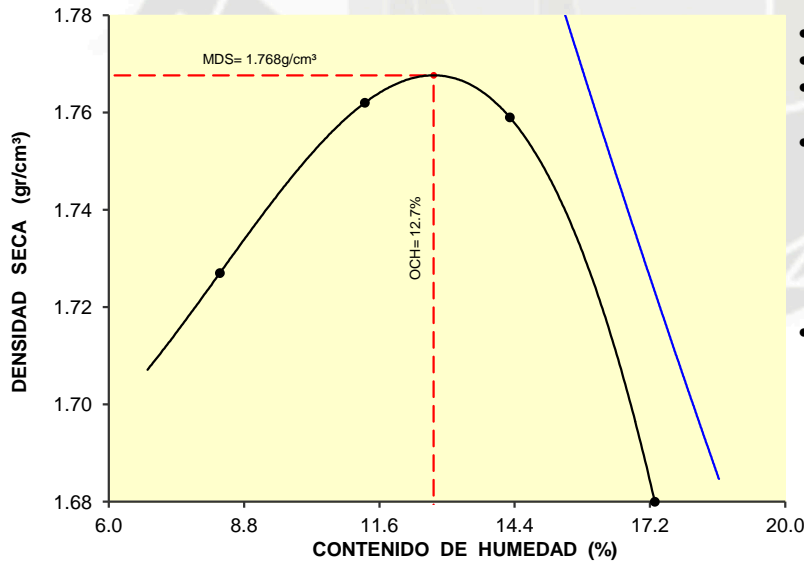
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	3797.0		3882.0		3929.5		3892.0	
02 - Masa del Molde (gr.)	2039.0		2039.0		2039.0		2039.0	
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	1758.0		1843.0		1890.5		1853.0	
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.0		940.0		940.0		940.0	
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.870		1.961		2.011		1.971	
06 - Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr.)	119.0	105.5	122.0	123.0	128.5	117.0	134.5	135.5
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	112.0	99.5	112.4	113.3	115.9	105.7	118.7	119.4
09 - Masa del agua (gr.)	7.0	6.0	9.6	9.7	12.6	11.3	15.8	16.1
10 - Masa del tarro (gr.)	27.5	27.0	27.5	27.0	28.0	26.5	27.0	26.5
11 - Masa suelo seco (gr.)	84.5	72.5	84.9	86.3	87.9	79.2	91.7	92.9
12 - Contenido de Humedad (%)	8.28	8.28	11.31	11.24	14.33	14.27	17.23	17.33
13 - Promedio de Humedad (%)	8.3		11.3		14.3		17.3	
14 - Densidad del Suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.727		1.762		1.759		1.680	



- Método de compactación **"A"**
- Máxima densidad seca, gr/cm<sup>3</sup> **1.768**
- Óptimo cont. de humedad, % **12.7**
  
- Características del espécimen:
  - Masa espec. relat. de sólidos (ASTM D-854) **2.455**
  - Limite líquido, % (ASTM D-4318) **22,1**
  - Índice de plasticidad, % (ASTM D-4318) **NP**
  - Clasificación SUCS (ASTM D-2487) **SM**
  - Clasificación AASHTO (ASTM D-3282) **A-2-4 (0)**
  
- Retenidos acumulados, % :
  - Tamiz 3/4 " (19,050 mm) (ASTM D-422) **1.8**
  - Tamiz 3/8 " (9,525 mm) (ASTM D-422) **5.0**
  - Tamiz N° 4 (4,760 mm) (ASTM D-422) **9.8**
  - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (ASTM D-1140) **27.0**

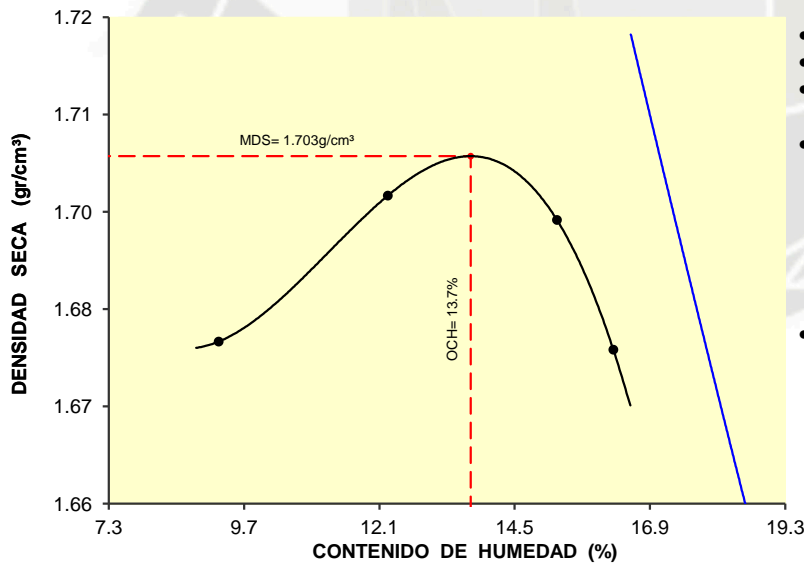
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

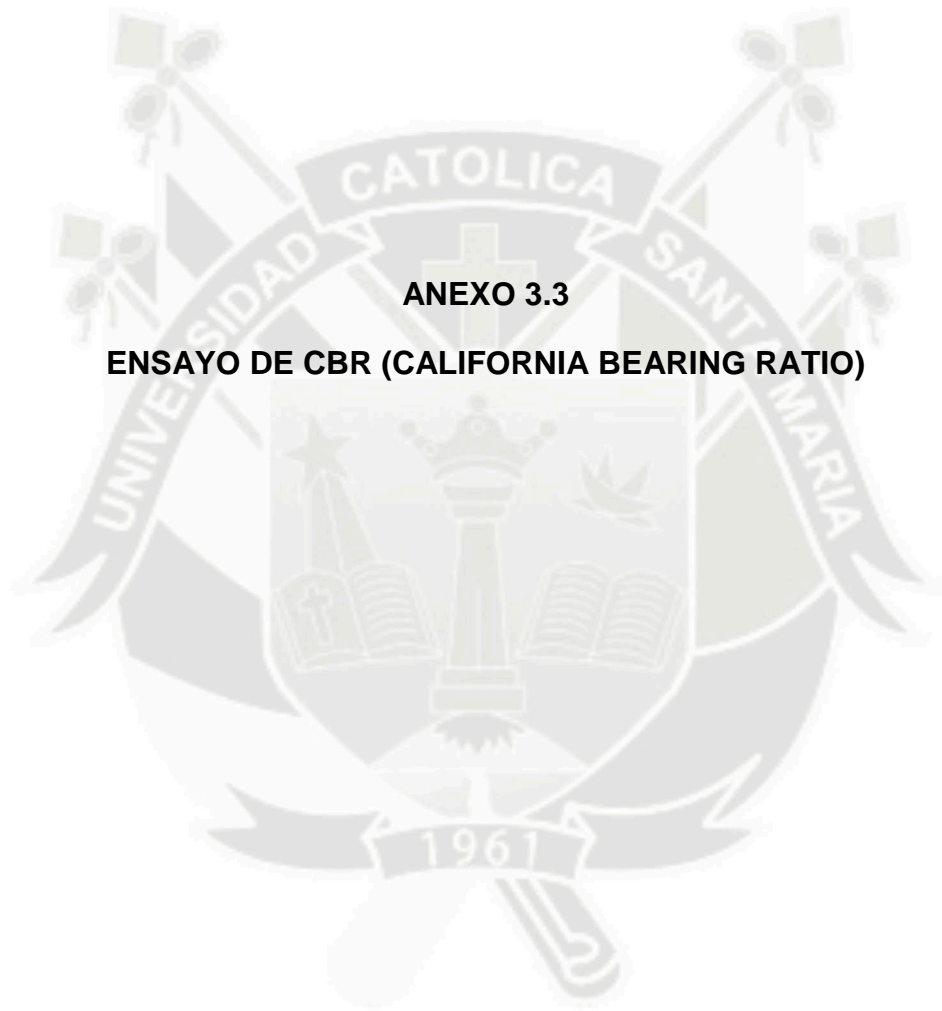
**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-3
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.60 - 1.10	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (gr.)	3764.0	3830.0	3875.0	3873.0				
02 - Masa del Molde (gr.)	2039.0	2039.0	2039.0	2039.0				
03 - Masa Suelo Humedo (gr.)	1725.0	1791.0	1836.0	1834.0				
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.0	940.0	940.0	940.0				
05 - Densidad Suelo Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.835	1.905	1.953	1.951				
06 - Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8
07 - Masa suelo humedo + tarro (gr.)	120.5	161.0	126.0	107.0	114.0	119.5	169.5	165.5
08 - Masa suelo seco + tarro (gr.)	112.9	149.7	115.3	98.3	102.5	107.4	149.7	146.5
09 - Masa del agua (gr.)	7.6	11.3	10.7	8.7	11.5	12.1	19.8	19.0
10 - Masa del tarro (gr.)	30.5	27.5	27.0	27.0	27.0	28.0	28.0	29.0
11 - Masa suelo seco (gr.)	82.4	122.2	88.3	71.3	75.5	79.4	121.7	117.5
12 - Contenido de Humedad (%)	9.22	9.25	12.12	12.20	15.23	15.24	16.27	16.17
13 - Promedio de Humedad (%)	9.2		12.2		15.2		16.2	
14 - Densidad del Suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.680		1.698		1.695		1.679	



- Método de compactación **"A"**
- Máxima densidad seca, gr/cm<sup>3</sup> **1.703**
- Óptimo cont. de humedad, % **13.7**
  
- Características del espécimen:
  - Masa espec. relat. de sólidos (MTC E-113) **2.398**
  - Limite líquido, % (MTC E-110) **21.5**
  - Índice de plasticidad, % (MTC E-111) **NP**
  - Clasificación SUCS (NTP 339.134) **SM**
  - Clasificación AASHTO (NTP 339.135) **A-2-4 (0)**
  
- Retenidos acumulados, % :
  - Tamiz 3/4 " (19,050 mm) (MTC E-107) **2.2**
  - Tamiz 3/8 " (9,525 mm) (MTC E-107) **6.2**
  - Tamiz N° 4 (4,760 mm) (MTC E-107) **11.8**
  - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (NTP 339.132) **24.0**



**ANEXO 3.3**

**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)**

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>2</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>2</sup>))**  
NORMA ( ASTM D - 1557 )

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-1
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

MOLDE N°	3		2		1	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		26		13	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
MASA MOLDE + SUELO HÚMEDO, gr	8590.5	8679.0	9299.0	9400.0	9036.0	9108.0
MASA DEL MOLDE, gr.	4164.0	4164.0	4942.5	4942.5	4880.5	4880.5
MASA DEL SUELO HÚMEDO, gr.	4426.5	4515.0	4356.5	4457.5	4155.5	4227.5
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm <sup>3</sup>	2142.0	2142.0	2179.0	2179.0	2152.0	2152.0
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm <sup>3</sup>	2.067	2.108	1.999	2.046	1.931	1.964
DENSIDAD SECA, gr/cm <sup>3</sup>	1.886	1.886	1.822	1.822	1.759	1.759
TARA N°	H3		HM1		H21	
TARA + SUELO HÚMEDO gr.	118.5		232.5		164.5	
TARA + SUELO SECO gr.	110.5		214.4		152.2	
MASA DEL AGUA gr.	8.0		18.1		12.3	
MASA DE LA TARA gr.	27.1		26.9		26.6	
MASA DEL SUELO SECO gr.	83.4		187.5		125.6	
% DE HUMEDAD	9.59		9.65		9.79	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	9.6		9.7		9.8	11.7

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/04/2015	10:08 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
13/04/2015	10:08 a.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E

**ABSORCION**

MOLDE N°	3		2		1	
Masa suelo húmedo. + plato + molde, g	12145.0		12779.5		12550.5	
Masa del plato + molde, gr.	7630.0		8322.0		8323.0	
Masa suelo húmedo embebido, gr.	4515.0		4457.5		4227.5	
Masa suelo húm. sin embeber, gr.	4426.5		4356.5		4155.5	
Masa del agua absorbida, gr.	88.5		101.0		72.0	
Masa del suelo seco, gr.	4038.8		3971.3		3784.6	
Absorción de agua, %	2.2		2.5		1.9	

**PENETRACION**

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE 3			MOLDE 2			MOLDE 1		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		72.0	342.7	17.46	62.00	295.3	15.04	32.0	152.9	7.79
1.270	0.050		149.0	708.2	36.08	109.00	518.4	26.41	59.0	281.0	14.32
1.905	0.075		245.0	1162.2	59.21	160.00	760.5	38.74	79.0	376.0	19.15
2.540	0.100	70.3	282.0	1335.8	68.05	201.00	955.1	48.65	104.0	494.6	25.20
3.810	0.150		375.0	1772.8	90.31	291.00	1378.0	70.20	149.0	708.2	36.08
5.080	0.200	105.5	430.0	2031.8	103.50	327.00	1546.9	78.80	184.0	874.4	44.54
6.350	0.250		450.0	2125.6	108.28	400.00	1890.5	96.31	209.0	993.1	50.59
7.620	0.300								237.0	1124.7	57.30
10.160	0.400								258.0	1223.2	62.31
12.700	0.500								292.0	1382.7	70.44

- CAPACIDAD ANILLO DE CARGA : 1.0 ton - ÁREA DEL PISTÓN : 19.63 cm<sup>2</sup>  
- VELOCIDAD DE CARGA: 1,27 mm/min

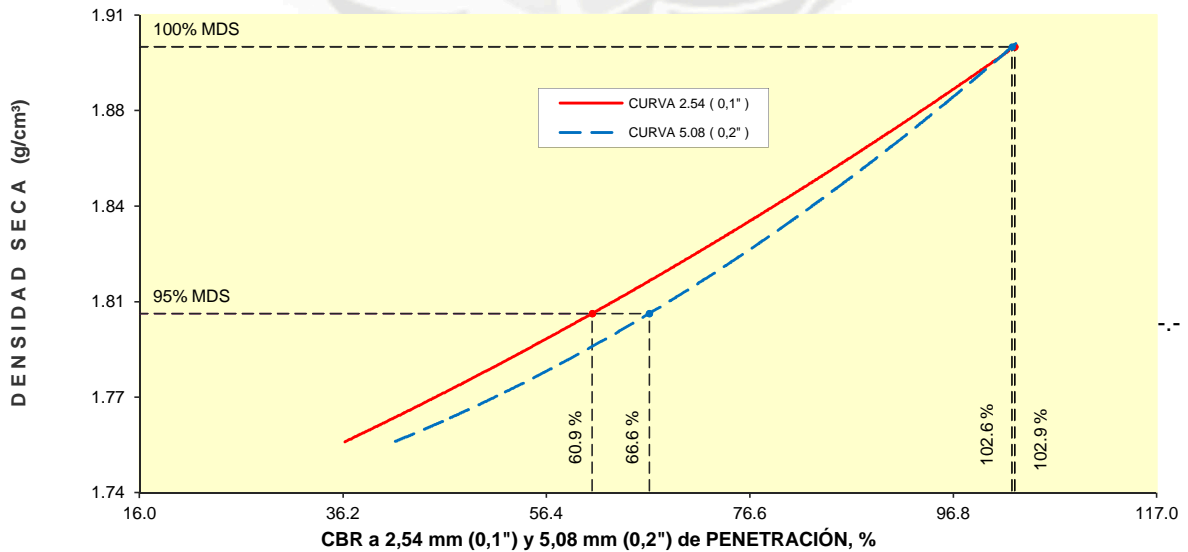
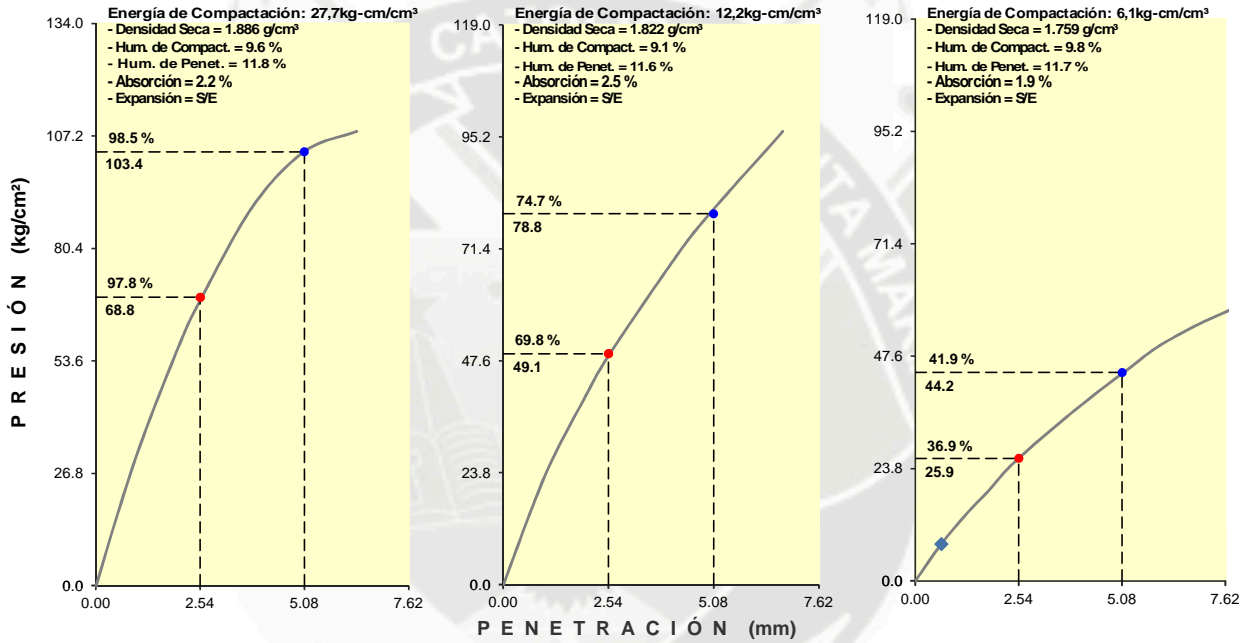
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
 NORMA (ASTM D-1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-1
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**





PROYECTO : **Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa**

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m<sup>2</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>2</sup>))**  
 NORMA (ASTM D - 1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-1
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

Procedimiento de Compactación	(ASTM D-1557 (2007))	:	"C"
Método de Preparación	(ASTM D-1557 (2007))	:	Húmedo
Máxima Densidad Seca (MDS)	(ASTM D-1557 (2007))	:	1.899 g/cm <sup>3</sup> (18.62 kN/m <sup>3</sup> )
Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(ASTM D-1557 (2007))	:	9.3 %

Penetración	2,54 mm (0.1")	5,08 mm (0.2")
CBR al 100% de la MDS	102.9 %	102.6 %
CBR al 95% de la MDS	60.9 %	66.6 %

<b>Condición de la muestra ensayada</b>	Embebido en agua: 4 días		
	<b>Especimen N° 01</b>	<b>Especimen N° 02</b>	<b>Especimen N° 03</b>
Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm <sup>3</sup>	12.2 kg*cm/cm <sup>3</sup>	6.1 kg*cm/cm <sup>3</sup>
Densidad seca (antes de ser remojada)	1.886 g/cm <sup>3</sup>	1.822 g/cm <sup>3</sup>	1.759 g/cm <sup>3</sup>
Masa de sobrecarga	4.53 kg	4.53 kg	4.53 kg
Expansión (hinchamiento)	S/E	S/E	S/E
Humedad (antes de la compactación)	9.6 %	9.7 %	9.8 %
Humedad de penetración	11.8 %	12.2 %	11.7 %
Absorción	2.2 %	2.5 %	1.9 %

**Características de los especímenes**

Retenido acumulado en tamices	(ASTM D-422)	:	3/4" (19,050 mm)	11.2 %
	(ASTM D-422)	:	3/8" (9,525 mm)	21.5 %
	(ASTM D-422)	:	N°4 (4,074 mm)	33.1 %
Pasa tamiz N° 200	(ASTM D-1140)	:	N°200 (0,074 mm)	16.0 %
Peso Específico Relativo de				
Partículas Sólidas	(ASTM D-854)	:	2.479	
Límite líquido	(ASTM D-4318)	:	23.0 %	
Índice de plasticidad	(ASTM D-4318)	:	NP	
Clasificación SUCS	(ASTM D-2487)	:	SM	
Clasificación AASHTO	(ASTM D-3282)	:	A-1-b (0)	

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>2</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>2</sup>))**  
NORMA ( ASTM D - 1557 )

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

MOLDE N°	3		2		1	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		25		13	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
MASA MOLDE + SUELO HÚMEDO, gr	8533.0	8569.0	9013.5	9145.5	8789.5	8992.5
MASA DEL MOLDE, gr.	4164.0	4164.0	4942.5	4942.5	4880.5	4880.5
MASA DEL SUELO HÚMEDO, gr.	4369.0	4405.0	4071.0	4203.0	3909.0	4112.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm <sup>3</sup>	2147.0	2147.0	2168.0	2168.0	2134.0	2134.0
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm <sup>3</sup>	2.035	2.052	1.878	1.939	1.832	1.927
DENSIDAD SECA, gr/cm <sup>3</sup>	1.822	1.822	1.684	1.684	1.640	1.640
TARA N°	27H		H3B		9H	
TARA + SUELO HÚMEDO gr.	122.5		110.0		94.0	
TARA + SUELO SECO gr.	112.5		101.5		87.0	
MASA DEL AGUA gr.	10.0		8.5		7.0	
MASA DE LA TARA gr.	27.0		27.3		26.9	
MASA DEL SUELO SECO gr.	85.5		74.2		60.1	
% DE HUMEDAD	11.70		11.46		11.65	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	11.7		11.5		11.7	17.5

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/04/2015	10:08 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
13/04/2015	10:08 a.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E

**ABSORCION**

MOLDE N°	3		2		1	
Masa suelo húmedo. + plato + molde, g	12035.0		12525.0		12435.0	
Masa del plato + molde, gr.	7630.0		8322.0		8323.0	
Masa suelo húmedo embebido, gr.	4405.0		4203.0		4112.0	
Masa suelo húm. sin embeber, gr.	4369.0		4071.0		3909.0	
Masa del agua absorbida, gr.	36.0		132.0		203.0	
Masa del suelo seco, gr.	3911.4		3651.1		3499.6	
Absorción de agua, %	0.9		3.6		5.8	

**PENETRACION**

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE 3			MOLDE 2			MOLDE 1		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		25.0	119.6	6.09	21.00	100.6	5.13	17.0	81.6	4.16
1.270	0.050		54.0	257.3	13.11	41.00	195.6	9.96	31.0	148.1	7.54
1.905	0.075		106.0	504.1	25.68	65.00	309.5	15.77	44.0	209.8	10.69
2.540	0.100	70.3	151.0	717.7	36.56	85.00	404.4	20.60	57.0	271.5	13.83
3.810	0.150		246.0	1166.9	59.45	127.00	603.8	30.76	84.0	399.7	20.36
5.080	0.200	105.5	323.0	1528.1	77.84	159.00	755.7	38.50	107.0	508.9	25.92
6.350	0.250		386.0	1824.6	92.95	193.00	917.1	46.72	125.0	594.3	30.28
7.620	0.300		413.0	1951.7	99.43	221.00	1049.7	53.47	143.0	679.8	34.63
10.160	0.400					277.00	1312.3	66.85	173.0	822.2	41.88
12.700	0.500					324.00	1532.8	78.08	202.0	959.8	48.90

- CAPACIDAD ANILLO DE CARGA : 1.0 ton - ÁREA DEL PISTÓN : 19.63 cm<sup>2</sup>  
- VELOCIDAD DE CARGA: 1,27 mm/min

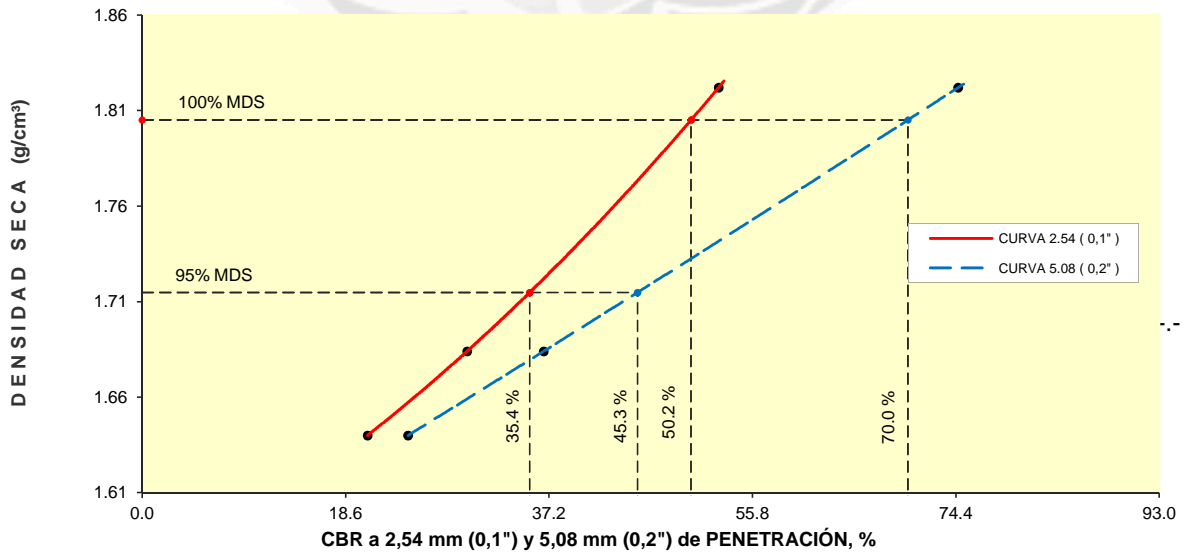
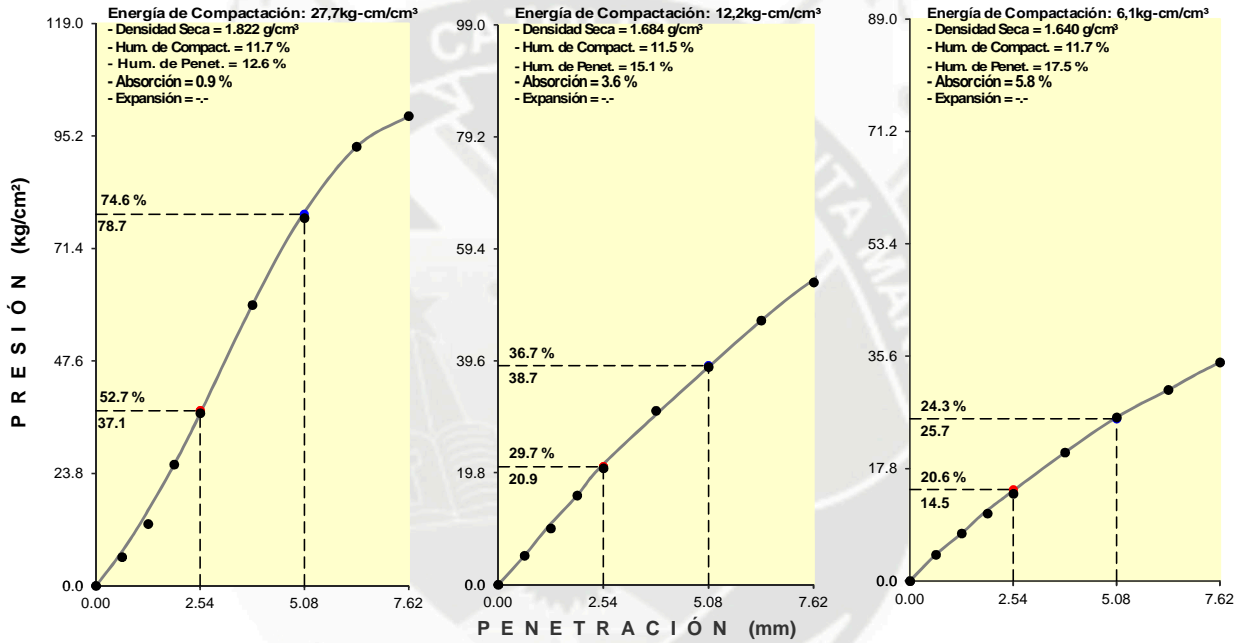
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))**  
 NORMA (ASTM D-1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**  
 NORMA (ASTM D-1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-1 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

Procedimiento de Compactación	(ASTM D-1557 (2007))	:	"A"
Método de Preparación	(ASTM D-1557 (2007))	:	Húmedo
Máxima Densidad Seca (MDS)	(ASTM D-1557 (2007))	:	1.805 g/cm <sup>3</sup> (17.70 kN/m <sup>3</sup> )
Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(ASTM D-1557 (2007))	:	12.1 %

Penetración	2,54 mm (0.1")	5,08 mm (0.2")
CBR al 100% de la MDS	50.2 %	70.0 %
CBR al 95% de la MDS	35.4 %	45.3 %

<b>Condición de la muestra ensayada</b>	Embebido en agua: 4 días		
	<b>Especimen N° 01</b>	<b>Especimen N° 02</b>	<b>Especimen N° 03</b>
Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm <sup>3</sup>	12.2 kg*cm/cm <sup>3</sup>	6.1 kg*cm/cm <sup>3</sup>
Densidad seca (antes de ser remojada)	1.822 g/cm <sup>3</sup>	1.684 g/cm <sup>3</sup>	1.640 g/cm <sup>3</sup>
Masa de sobrecarga	4.53 kg	4.53 kg	4.53 kg
Expansión (hinchamiento)	S/E	S/E	S/E
Humedad (antes de la compactación)	11.7 %	11.5 %	11.7 %
Humedad de penetración	12.6 %	15.1 %	17.5 %
Absorción	0.9 %	3.6 %	5.8 %

**Características de los especímenes**

Retenido acumulado en tamices	(ASTM D-422)	:	3/4" (19,050 mm)	5.3 %
	(ASTM D-422)	:	3/8" (9,525 mm)	11.5 %
	(ASTM D-422)	:	N°4 (4,074 mm)	18.1 %
Pasa tamiz N° 200	(ASTM D-1140)	:	N°200 (0,074 mm)	22.0 %
Peso Específico Relativo de				
Partículas Sólidas	(ASTM D-854)	:	2.481	
Límite líquido	(ASTM D-4318)	:	23,6	
Índice de plasticidad	(ASTM D-4318)	:	NP	
Clasificación SUCS	(ASTM D-2487)	:	SM	
Clasificación AASHTO	(ASTM D-3282)	:	A-2-4 (0)	

**Observaciones :**

Material proporcionado e identificado por Bach. Ing. Harold Meza Palomino

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>2</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>2</sup>))**

NORMA ( ASTM D - 1557 )

Muestra SUELOS Identificación C-2 M-1  
 Procedencia CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25 Realizado por Harold Meza Palomino  
 Fecha Ensayo Junio 2016

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

MOLDE N°	3		2		1	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		25		13	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
MASA MOLDE + SUELO HÚMEDO, gr	8462.0	8593.0	9175.0	9370.0	8990.0	9215.0
MASA DEL MOLDE, gr.	4162.0	4162.0	4998.0	4998.0	4965.0	4965.0
MASA DEL SUELO HÚMEDO, gr.	4300.0	4431.0	4177.0	4372.0	4025.0	4250.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm <sup>3</sup>	2150.0	2150.0	2160.0	2160.0	2164.0	2164.0
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm <sup>3</sup>	2.000	2.061	1.934	2.024	1.860	1.964
DENSIDAD SECA, gr/cm <sup>3</sup>	1.833	1.833	1.771	1.771	1.705	1.705
TARA N°	9H		H3B		27H	
TARA + SUELO HÚMEDO gr.	187.3		176.8		178.9	
TARA + SUELO SECO gr.	173.9		164.2		166.2	
MASA DEL AGUA gr.	13.4		12.6		12.7	
MASA DE LA TARA gr.	26.9		27.3		27.0	
MASA DEL SUELO SECO gr.	147.0		136.9		139.2	
% DE HUMEDAD	9.12		9.20		9.12	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	9.1	12.4	9.2	14.3	9.1	15.2

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/04/2015	10:08 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
13/04/2015	10:08 a.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E

**ABSORCION**

MOLDE N°	3	2	1
Masa suelo húmedo. + plato + molde, g	11500.0	13055.0	12665.0
Masa del plato + molde, gr.	7069.0	8683.0	8415.0
Masa suelo húmedo embebido, gr.	4431.0	4372.0	4250.0
Masa suelo húm. sin embeber, gr.	4300.0	4177.0	4025.0
Masa del agua absorbida, gr.	131.0	195.0	225.0
Masa del suelo seco, gr.	3941.3	3825.1	3689.3
Absorción de agua, %	3.3	5.1	6.1

**PENETRACION**

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE 3			MOLDE 2			MOLDE 1		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		72.0	342.7	17.46	45.00	214.6	10.93	26.0	124.4	6.34
1.270	0.050		144.0	684.5	34.87	94.00	447.2	22.78	49.0	233.5	11.90
1.905	0.075		220.0	1045.0	53.23	117.00	556.3	28.34	70.0	333.2	16.98
2.540	0.100	70.3	255.0	1209.1	61.60	154.00	732.0	37.29	86.0	409.2	20.84
3.810	0.150		330.0	1561.0	79.52	200.00	950.3	48.41	125.0	594.3	30.28
5.080	0.200	105.5	395.0	1867.0	95.11	255.00	1209.1	61.60	154.0	732.0	37.29
6.350	0.250					302.00	1429.6	72.83	179.0	850.6	43.33
7.620	0.300								204.0	969.3	49.38
10.160	0.400								245.0	1162.2	59.21
12.700	0.500								265.0	1256.0	63.99

- CAPACIDAD ANILLO DE CARGA : 1.0 ton - ÁREA DEL PISTÓN : 19.63 cm<sup>2</sup>  
 - VELOCIDAD DE CARGA: 1,27 mm/min

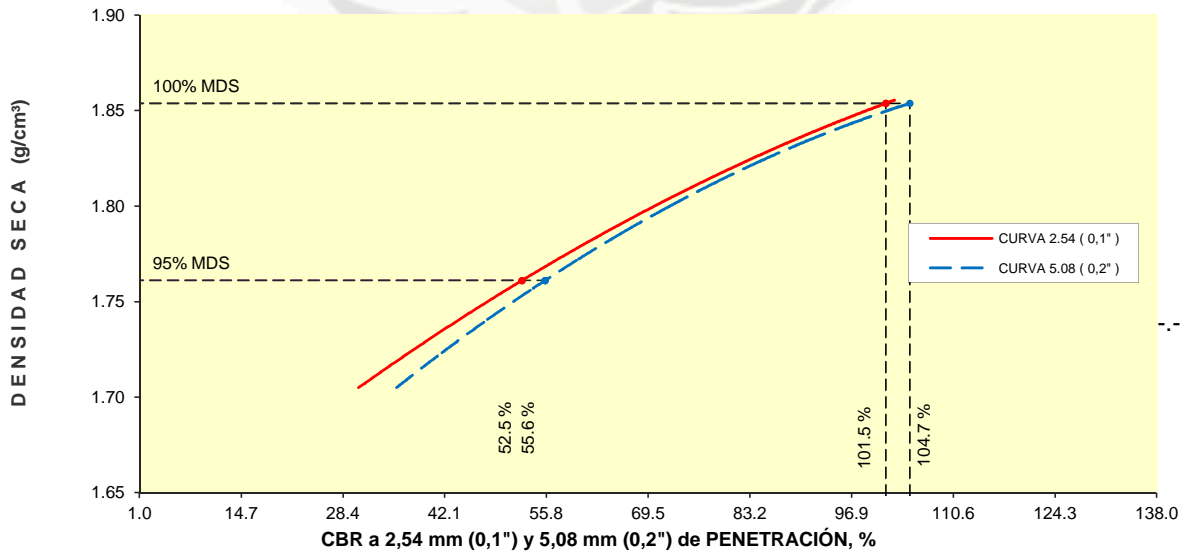
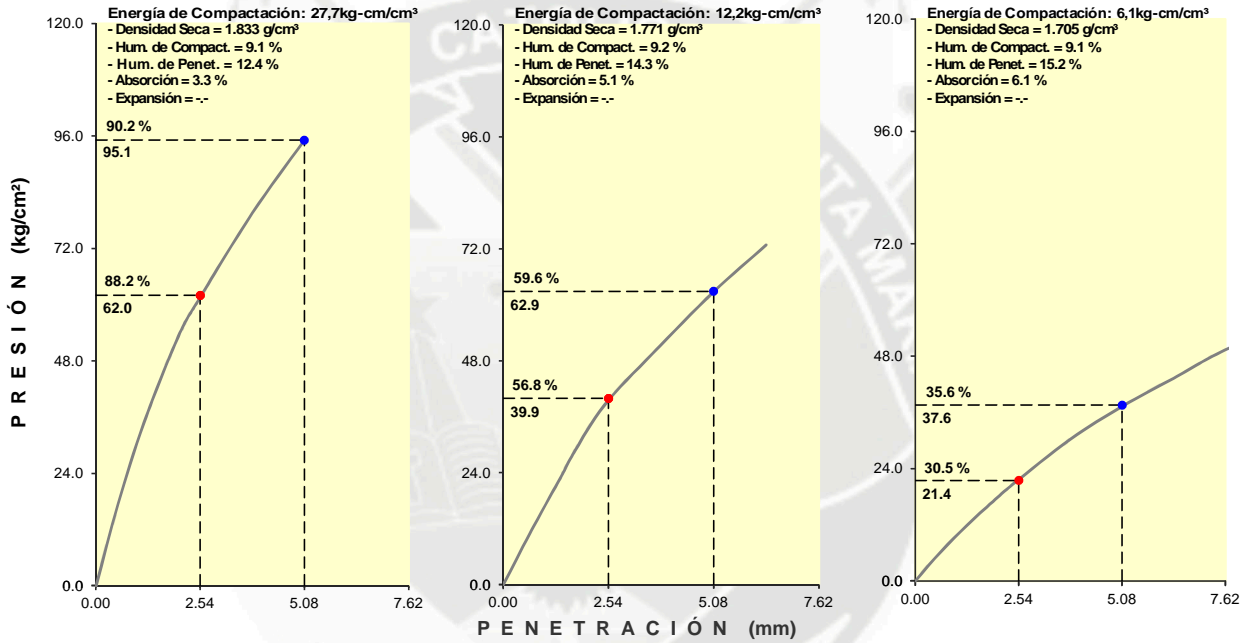
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN· m/m<sup>3</sup> (56000 pie·lbf/pie<sup>3</sup>))**  
 NORMA (ASTM D - 1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-1
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**



PROYECTO : **Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa**

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN· m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**

*NORMA (ASTM D- 1557)*

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-1
Procedencia	CALICATA N° 2 - PROF (m): 0.00 - 0.25	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

<b>Procedimiento de Compactación</b>	(ASTM D-1557 (2007))	:	<b>"C"</b>	
<b>Método de Preparación</b>	(ASTM D-1557 (2007))	:	<b>Húmedo</b>	
<b>Máxima Densidad Seca (MDS)</b>	(ASTM D-1557 (2007))	:	<b>1.854 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>(18.18 kN/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Óptimo Contenido de Humedad (OCH)</b>	(ASTM D-1557 (2007))	:	<b>9.3 %</b>	

<b>Penetración</b>	2,54 mm (0.1")	5,08 mm (0.2")
<b>CBR al 100% de la MDS</b>	<b>101.5 %</b>	<b>104.7 %</b>
<b>CBR al 95% de la MDS</b>	<b>52.5 %</b>	<b>55.6 %</b>

<b>Condición de la muestra ensayada</b>	Embebido en agua: 4 días		
	<b>Especimen N° 01</b>	<b>Especimen N° 02</b>	<b>Especimen N° 03</b>
Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm <sup>3</sup>	12.2 kg*cm/cm <sup>3</sup>	6.1 kg*cm/cm <sup>3</sup>
Densidad seca (antes de ser remojada)	1.833 g/cm <sup>3</sup>	1.771 g/cm <sup>3</sup>	1.705 g/cm <sup>3</sup>
Masa de sobrecarga	4.53 kg	4.53 kg	4.53 kg
Expansión (hinchamiento)	S/E	S/E	S/E
Humedad (antes de la compactación)	9.1 %	9.2 %	9.1 %
Humedad de penetración	12.4 %	14.3 %	15.2 %
Absorción	3.3 %	5.1 %	6.1 %

**Características de los especímenes**

Retenido acumulado en tamices	(ASTM D-422)	:	3/4" (19,050 mm)	15.5 %
	(ASTM D-422)	:	3/8" (9,525 mm)	26.6 %
	(ASTM D-422)	:	N°4 (4,074 mm)	32.0 %
Pasa tamiz N° 200	(ASTM D-1140)	:	N°200 (0,074 mm)	12.0 %
Peso Específico Relativo de				
Partículas Sólidas	(ASTM D-854)	:	2.489	
Límite líquido	(ASTM D-4318)	:	20.6 %	
Índice de plasticidad	(ASTM D-4318)	:	NP	
Clasificación SUCS	(ASTM D-2487)	:	SM	
Clasificación AASHTO	(ASTM D-3282)	:	A-1-b (0)	

PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m<sup>2</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>2</sup>))**  
**NORMA ( ASTM D - 1557 )**

Muestra SUELOS Identificación C-2 M-2  
 Procedencia CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60 Realizado por Harold Meza Palomino  
 Fecha Ensayo Junio 2016

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

MOLDE N°	3		1		2	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	58		25		13	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
MASA MOLDE + SUELO HÚMEDO, gr	8355.0	8448.0	9020.0	9200.0	8900.0	9125.0
MASA DEL MOLDE, gr.	4162.0	4162.0	4965.0	4965.0	4998.0	4998.0
MASA DEL SUELO HÚMEDO, gr.	4193.0	4286.0	4055.0	4235.0	3902.0	4127.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm <sup>3</sup>	2155.0	2155.0	2164.0	2164.0	2151.0	2151.0
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm <sup>3</sup>	1.946	1.989	1.874	1.957	1.814	1.919
DENSIDAD SECA, gr/cm <sup>3</sup>	1.738	1.738	1.670	1.670	1.615	1.615
TARA N°	9H		H3B		27H	
TARA + SUELO HÚMEDO gr.	131.2		142.1		144.2	
TARA + SUELO SECO gr.	120.0		129.6		131.4	
MASA DEL AGUA gr.	11.2		12.5		12.8	
MASA DE LA TARA gr.	26.9		27.3		27.0	
MASA DEL SUELO SECO gr.	93.1		102.3		104.4	
% DE HUMEDAD	12.03		12.22		12.26	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	12.0	14.5	12.2	17.2	12.3	18.8

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/04/2015	10:08 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
13/04/2015	10:08 a.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E

**ABSORCION**

MOLDE N°	3	1	2
Masa suelo húmedo. + plato + molde, g	11355.0	12650.0	12810.0
Masa del plato + molde, gr.	7069.0	8415.0	8683.0
Masa suelo húmedo embebido, gr.	4286.0	4235.0	4127.0
Masa suelo húm. sin embeber, gr.	4193.0	4055.0	3902.0
Masa del agua absorbida, gr.	93.0	180.0	225.0
Masa del suelo seco, gr.	3743.8	3614.1	3474.6
Absorción de agua, %	2.5	5.0	6.5

**PENETRACION**

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE 3			MOLDE 1			MOLDE 2		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		25.0	119.6	6.09	27.00	129.1	6.58	6.0	29.4	1.50
1.270	0.050		79.0	376.0	19.15	53.00	252.5	12.86	21.0	100.6	5.13
1.905	0.075		127.0	603.8	30.76	91.00	432.9	22.05	50.0	238.3	12.14
2.540	0.100	70.3	173.0	822.2	41.88	132.00	627.5	31.97	68.0	323.7	16.49
3.810	0.150		265.0	1256.0	63.99	176.00	836.4	42.61	98.0	466.1	23.75
5.080	0.200	105.5	332.0	1570.4	80.00	234.00	1110.6	56.58	112.0	532.6	27.13
6.350	0.250					279.00	1321.7	67.33	125.0	594.3	30.28
7.620	0.300					297.00	1406.1	71.63	138.0	656.0	33.42
10.160	0.400					342.00	1617.5	82.40	155.0	736.7	37.53
12.700	0.500								177.0	841.2	42.85

- CAPACIDAD ANILLO DE CARGA : 1.0 ton - ÁREA DEL PISTÓN : 19.63 cm<sup>2</sup>  
 - VELOCIDAD DE CARGA: 1,27 mm/min



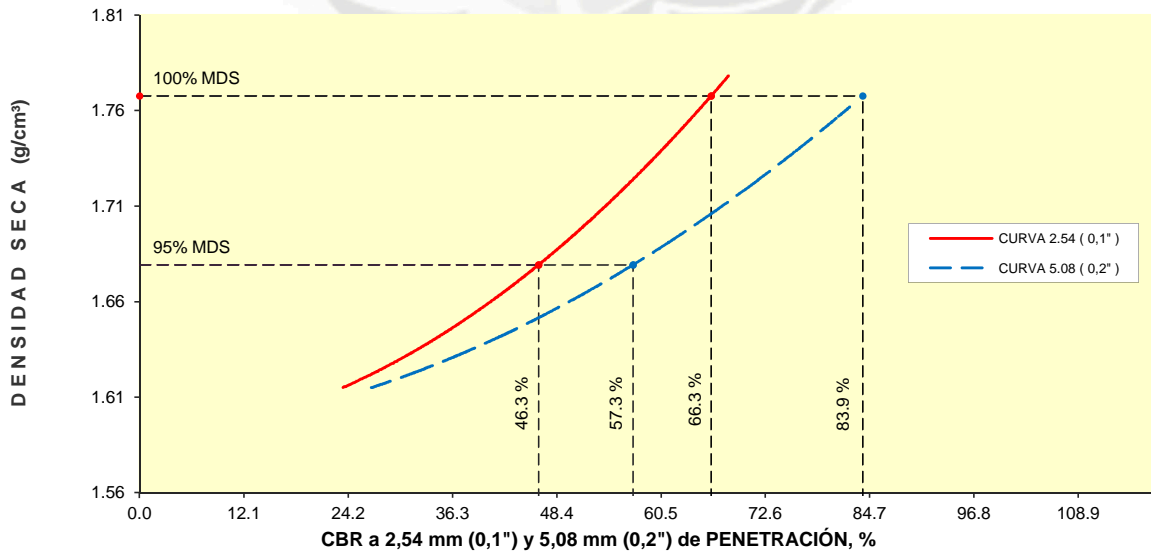
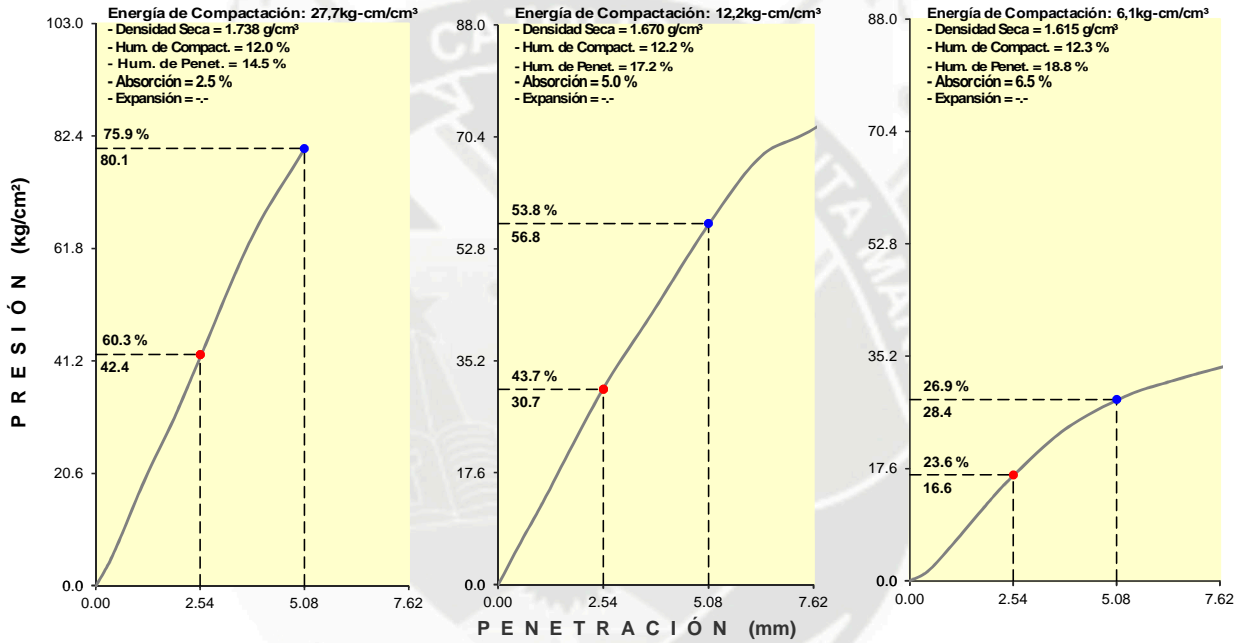
PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))**  
 NORMA (ASTM D-1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**



PROYECTO : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

UBICACIÓN : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

**COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN· m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**

NORMA (ASTM D- 1557)

Muestra	SUELOS	Identificación	C-2 M-2
Procedencia	CALICATA N° 1 - PROF (m): 0.25 - 0.60	Realizado por	Harold Meza Palomino
Fecha Ensayo	Junio 2016		

**ASTM D-1883 (2000) STANDARD TEST METHOD FOR CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) OF LABORATORY COMPACTED SOILS**

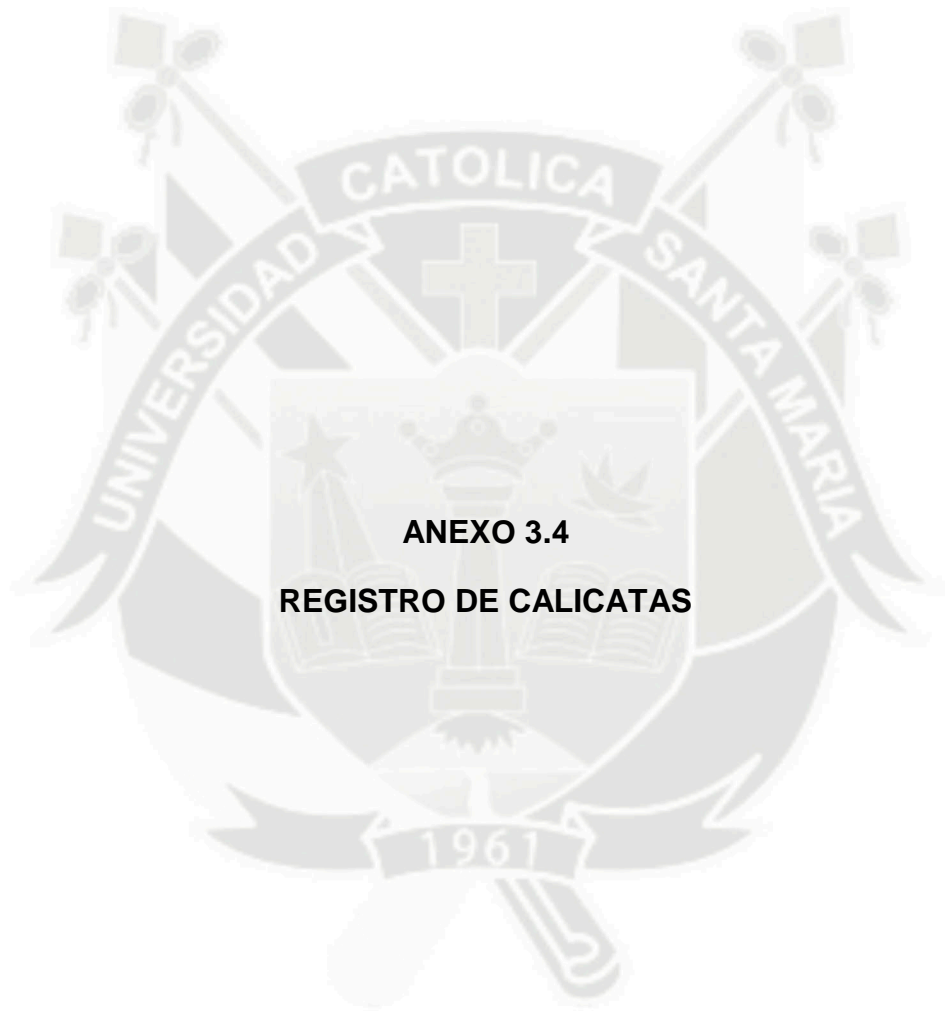
Procedimiento de Compactación	(ASTM D-1557 (2007))	:	"A"
Método de Preparación	(ASTM D-1557 (2007))	:	Húmedo
Máxima Densidad Seca (MDS)	(ASTM D-1557 (2007))	:	1.768 g/cm <sup>3</sup> (17.33 kN/m <sup>3</sup> )
Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(ASTM D-1557 (2007))	:	12.7 %

Penetración	2,54 mm (0.1")	5,08 mm (0,2")
CBR al 100% de la MDS	66.3 %	83.9 %
CBR al 95% de la MDS	46.3 %	57.3 %

Condición de la muestra ensayada	Embebido en agua: 4 días		
	Especimen N° 01	Especimen N° 02	Especimen N° 03
Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm <sup>3</sup>	12.2 kg*cm/cm <sup>3</sup>	6.1 kg*cm/cm <sup>3</sup>
Densidad seca (antes de ser remojada)	1.738 g/cm <sup>3</sup>	1.670 g/cm <sup>3</sup>	1.615 g/cm <sup>3</sup>
Masa de sobrecarga	4.53 kg	4.53 kg	4.53 kg
Expansión (hinchamiento)	S/E	S/E	S/E
Humedad (antes de la compactación)	12.0 %	12.2 %	12.3 %
Humedad de penetración	14.5 %	17.2 %	18.8 %
Absorción	2.5 %	5.0 %	6.5 %

**Características de los especímenes**

Retenido acumulado en tamices	(ASTM D-422)	:	3/4" (19,050 mm)	1.8 %
	(ASTM D-422)	:	3/8" (9,525 mm)	5.0 %
	(ASTM D-422)	:	N°4 (4,074 mm)	9.8 %
Pasa tamiz N° 200	(ASTM D-1140)	:	N°200 (0,074 mm)	27.0 %
Peso Específico Relativo de				
Partículas Sólidas	(ASTM D-854)	:	2.455	
Límite líquido	(ASTM D-4318)	:	22,1	
Índice de plasticidad	(ASTM D-4318)	:	NP	
Clasificación SUCS	(ASTM D-2487)	:	SM	
Clasificación AASHTO	(ASTM D-3282)	:	A-2-4 (0)	



**ANEXO 3.4**

**REGISTRO DE CALICATAS**

## REGISTRO DE CALICATA

**PROYECTO** : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa

**UBICACIÓN** : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

### NTP 139.150 DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL - MANUAL)

#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

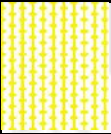


**PROGRESIVA** : Km 00+020.

**CALICATA** : C-1

**LADO** : Derecho

**PROFUNDIDAD** : 1.00 m

**NAPA FREÁTICA** : N.P

PROF. (m)	ESTRATO		SIMBOLO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA	CLASIFICACION	
	MUESTRA	ESPESOR (m)			AASHTO	SUCS
0.1	M-1	0.00-0.25		Material Granular, arena limosa. forma angular, poco dura, textura rugosa a lisa, tamaño máx. de 1 1/2"; con un 51% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla Nº200 en un 15.9%; no plástico (LL= 23.8%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.	A-1-b (0)	SM
0.2						
0.3						
0.4	M-2	0.25-0.60		Arena limosa. tamaño máx. de 1 1/2"; con un 60% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla Nº200 en un 21.9%; no plástico (LL= 23.6%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.	A-2-4 (0)	SM
0.5						
0.6						
0.7	M-3	0.60-1.00		Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 61.3% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla Nº200 en un 23.4%; no plástico (LL= 22.1%, IP= NP); húmedo, semi compacto, color marrón claro.	A-2-4 (0)	SM
0.8						
0.9						
1.0						



## REGISTRO DE CALICATA

**PROYECTO** : Evaluación Deflectométrica obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto en La Avenida Hartley del Distrito de Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa




**UBICACIÓN** : AVENIDA HARTLEY, JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

### NTP 139.150 DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL - MANUAL)

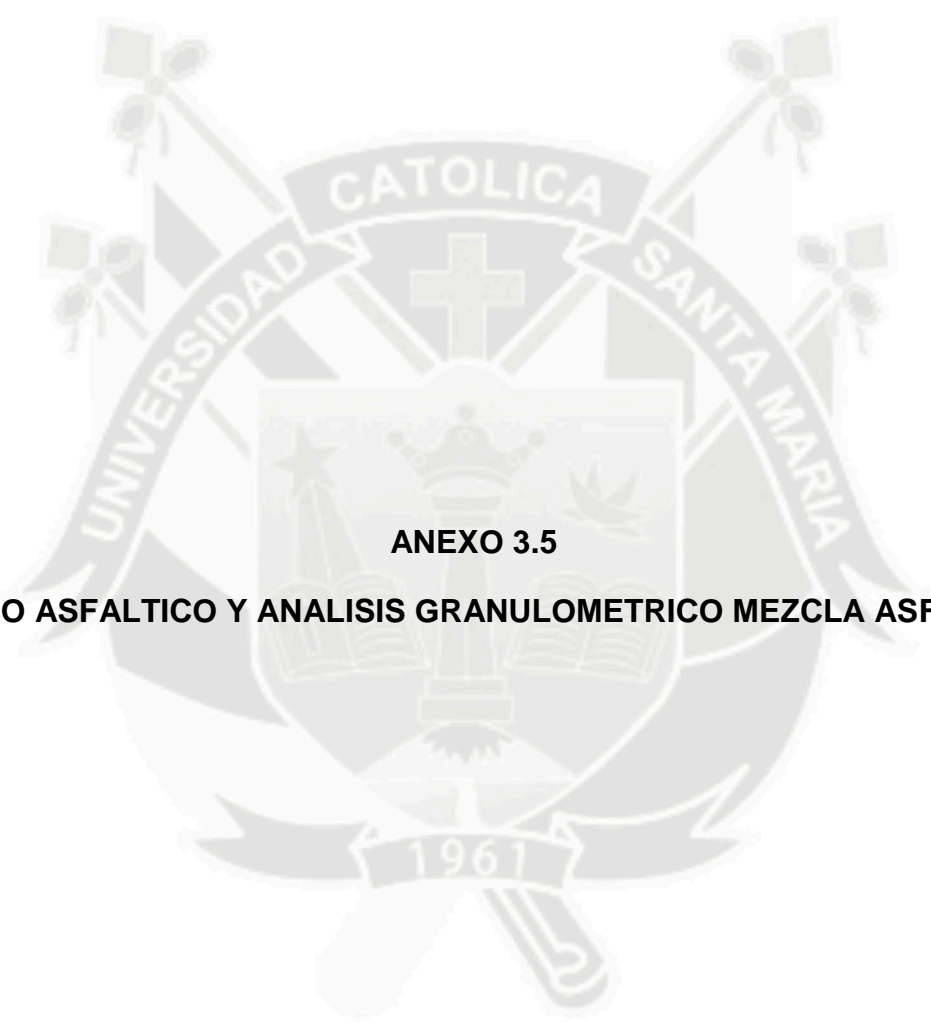
#### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

**PROGRESIVA CALICATA** : Km 00+800.  
C-2  
**LADO** : Izquierda

**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA** 1.00 m  
N/P

PROF. (m)	ESTRATO		SIMBOLO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MUESTRA	CLASIFICACION	
	MUESTRA	ESPESOR (m)			AASHTO	SUCS
0.1	M-1	0.00-0.25		Material granular en matriz arena limosa, forma angular, tamaño máx. de 11/2"; con un 55.7% de arena de grano fino a medio; material fino pasante la malla Nº200 en un 12.3%, no plástico (LL= 20.7%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón claro.	A-1-b (0)	SM
0.2						
0.3						
0.4	M-2	0.25-0.60		Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 62.9% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla Nº200 en un 27.3%, no plástico (LL= 22.1%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón.	A-2-4 (0)	SM
0.5						
0.6						
0.7	M-3	0.60-1.00		Arena limosa. tamaño máx. de 1"; con un 64% de arena de grano fino a medio; fracción fina pasante la malla Nº200 en un 24.2%, no plástico (LL=21.5%, IP= NP); poco húmedo, compacto, color marrón.	A-2-4 (0)	SM
0.8						
0.9						
1.0						





**ANEXO 3.5**

**LAVADO ASFALTICO Y ANALISIS GRANULOMETRICO MEZCLA ASFALTICA**



NORMA ASTM D2172	
<b>PRUEBA DE EXTRACCIÓN CENTRIFUGA</b>	
<b>PROYECTO</b>	REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO AVENIDA HARTLEY
<b>SOLICITA</b>	HAROL SELEDONIO MEZA PALOMINO
<b>UBCACIÓN</b>	AVENIDA HARTLEY, DISTRITO DE JOSE LUIS B. Y RIVERO
<b>MUESTRA</b>	CARPETA ASFALTICA RETIRADA DE VIA
<b>FECHA</b>	10/12/2015

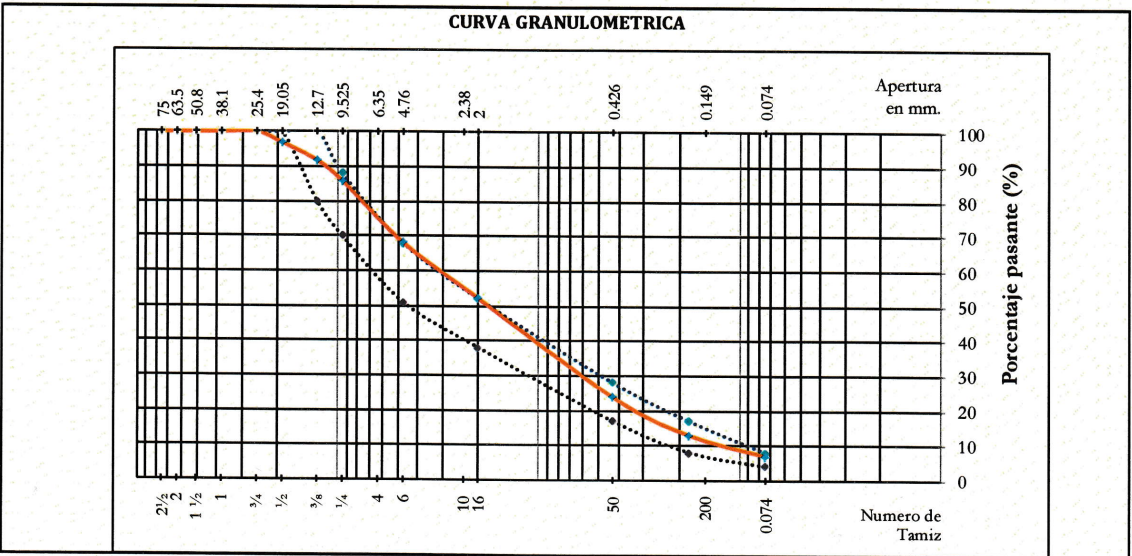
DETALLE AVANCE				COMBINACION MATERIALES (DISEÑO)	
<b>ESTRUCTURA</b>	ASFALTO	<b>PROGRESIVA</b>		Grava (%)	-
<b>LUGAR</b>		<b>Inicial</b>	<b>Final</b>	Arena Chancada (%)	-
<b>CARRIL</b>	AV. HARTLEY	0+000	1+000	Arena zarandeada (%)	-
				Filler (%)	-
				Contenido optimo de asfalto (%)	-

GRANULOMETRIA						
Tamices serie Americana	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Gradación
1"	25.40				100.00	100-100
3/4"	19.05	45.0	3.13	3.13	96.87	100-100
1/2"	12.70	74.7	5.20	8.33	91.67	80-100
3/8"	9.53	84.1	5.85	14.18	85.82	70-88
1/4"	6.35	254.1	17.68	31.86	68.14	
Nº 4	4.76			31.86	68.14	51-68
Nº8	2.38			31.86	68.14	
Nº10	2.00	231.7	16.12	47.99	52.01	38-52
Nº16	1.19			47.99	52.01	
Nº20	0.84			47.99	52.01	
Nº30	0.59			47.99	52.01	
Nº40	0.43	405.8	28.24	76.23	23.77	17-28
Nº80	0.18	156.1	10.86	87.09	12.91	8-17
Nº100	0.15	25.1	1.7	88.8	11.16	
Nº200	0.07	60.9	4.2	93.1	6.92	4-8
Bandeja	0.00	99.5	6.92	100.00		

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Día:	1
Control:	1A
Gradación:	MAC2
Material:	MEZCLA ASFALTICA
Temperatura (°C)	21
Hora:	09:15

RESULTADOS	
Peso inicial (g)	1523.90
Peso final (g)	1432.20
Peso inicial del filtro (g)	13.40
Peso final del filtro (g)	15.80
<b>ASFALTO (%)</b>	<b>5.86</b>

RESULTADO GRANULOMETRIA	
Gravas (%)	31.86
Arenas (%)	61.21
Fino (%)	6.92



**TECNICALAB SRL.**  
Jackeline V. Nieto García  
INGENIERA  
CIP. 91597



**ANEXO 3.6**

**PATOLOGIA DE FALLAS**



## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+045	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 1	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+075	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversales	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	L	4.6								4.60	2.3%	19.00
1	M	13								13.00	6.4%	43.00
11	M	6.4								6.40	3.1%	18.00
3	M	10.8								10.80	5.3%	14.00

PCI      46

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+130	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 2	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+160	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	10	11	15	3	3					
1	M	6	72	0						22.20	10.9%	51.00
10	M	6								6.00	2.9%	8.00
11	M	162								16.20	7.9%	27.00
15	M	32								3.20	1.6%	22.00
3	H	10								10.00	4.9%	19.00
3	M	4	64							10.40	5.1%	14.00

PCI	30
-----	----

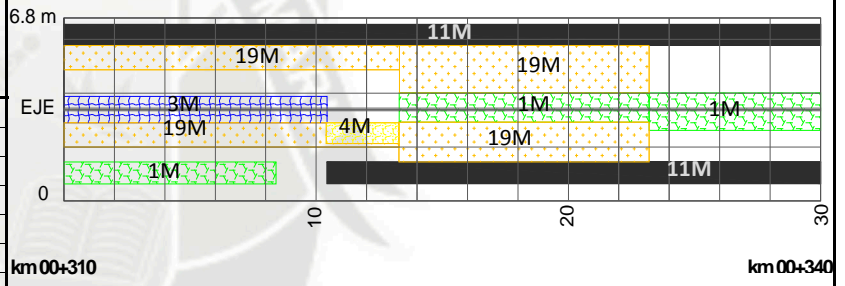


## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+310	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 4
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+340	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento
		19. Desprendimiento de agregados



TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	M	64	98	10						26.20	12.8%	53.00
11	M	16	24							40.00	19.6%	44.00
19	M	9	117	15	18					53.70	26.3%	28.00
3	M	10								10.00	4.9%	14.00
4	M	3								3.00	1.5%	15.00

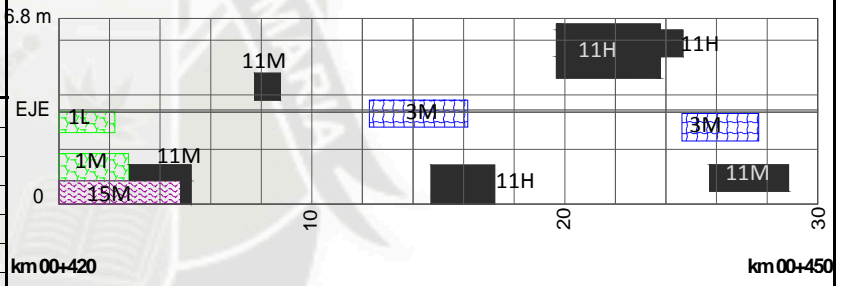
PCI	20
-----	----

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+420	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 5
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+450	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento
		19. Desprendimiento de agregados



TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	I	2								2.00	1.0%	11.00
1	M	3								3.00	1.5%	24.00
11	H	1	35	8						12.50	6.1%	39.00
11	M	1	3	35						7.50	3.7%	20.00
15	M	4								4.00	2.0%	24.00
3	M	28	4							6.80	3.3%	11.00

PCI	37
-----	----

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+510	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 6	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+540	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m2	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD						TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6			
1	H	12	24					36.00	17.6%	69.00
1	I	1						1.00	0.5%	6.00
1	M	9						9.00	4.4%	37.00
10	I	5						5.00	2.5%	1.00
10	M	3	8	7	10			28.00	13.7%	22.00
11	M	20						20.00	9.8%	31.00
19	M	12						12.00	5.9%	13.00
3	H	3						3.00	1.5%	8.00
4	H	2						2.00	1.0%	30.00

PCI

12

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+600	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 7	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+630	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m2	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7			
1	H	20							20.00	9.8%	62.00
1	I	03	05	06					1.40	0.7%	8.00
1	M	06	6						6.60	3.2%	33.00
11	M	24	4	13					19.40	9.5%	30.00
19	M	30							30.00	14.7%	22.00
4	I	6							6.00	2.9%	6.00
4	M	4	6						10.00	4.9%	28.00

PCI

15

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+690	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 8	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+720	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m2	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7			
1	H	10							10.00	4.9%	52.00
1	M	1	12	15	3	48			11.50	5.6%	41.00
10	M	10							10.00	4.9%	12.00
11	I	104							10.40	5.1%	10.00
11	M	1	14	51					7.50	3.7%	20.00

PCI      27



## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+780	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 9	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+810	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	10	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6			
1	M	4.8	10	10.1						25.20	12.4%	53.00
10	M	10	13							23.00	11.3%	20.00
11	M	0.5	2.1	2.8	3					8.40	4.1%	21.00
3	M	4.5								4.50	2.2%	7.00

PCI	39
-----	----

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+870	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 10	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+900	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parqueo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	10	10	11	11	15	3				
1	M	4								4.80	2.4%	29.00
10	I	2								2.00	1.0%	0.00
10	M	10								10.00	4.9%	12.00
11	I	3								3.00	1.5%	3.00
11	M	3	32	224						28.60	14.0%	37.00
15	I	17.5								17.50	8.6%	29.00
3	I	23								2.30	1.1%	0.00

PCI

37

## FORMULARIO

### EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA

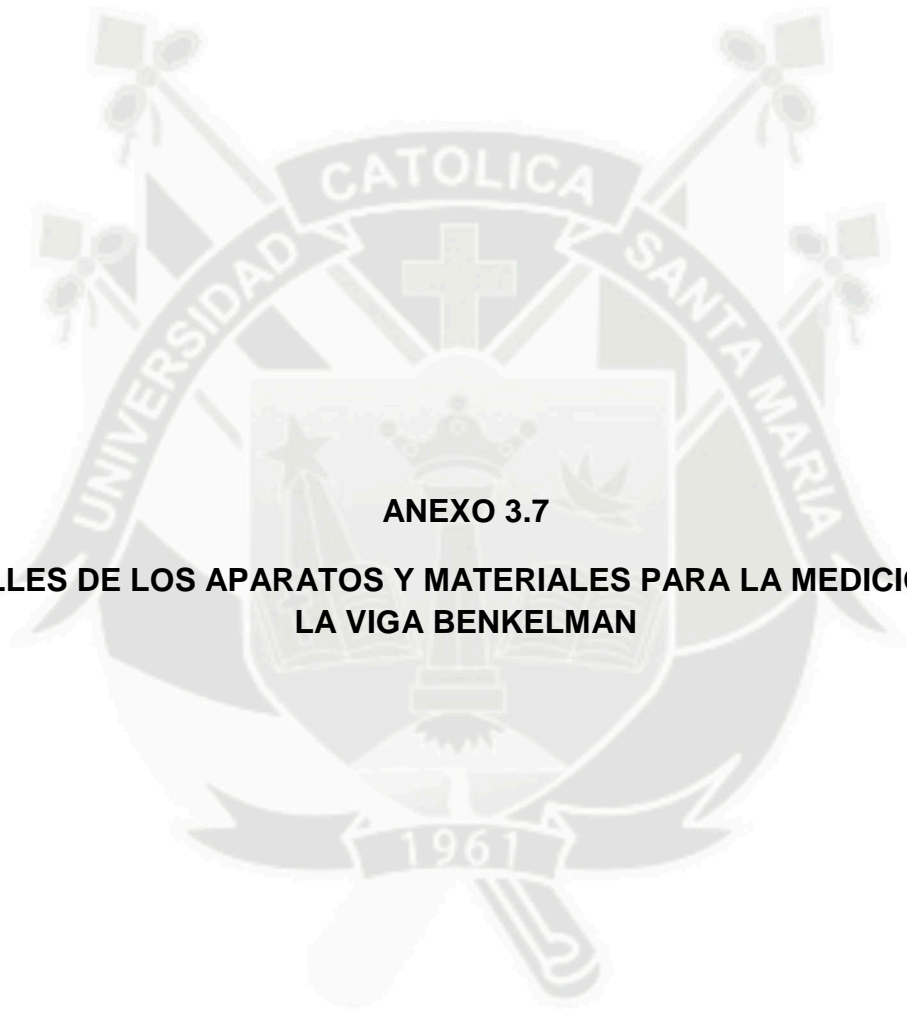
#### MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA ASTM D 6433

<b>SECCION</b> 0+000 A 1+000	<b>PROGRESIVA INICIAL</b> km 00+960	<b>UNIDAD DE MUESTREO</b> 11	
<b>CARRIL</b> Ambos	<b>PROGRESIVA FINAL</b> km 00+990	<b>AREA DE MUESTREO</b> 204 m <sup>2</sup>	
<b>INSPECCIONADO POR</b> Bach. Ing. Harold Meza Palomino		<b>FECHA</b> 16 de diciembre de 2016	
1. Piel de Cocodrilo	7. Grieta de Borde	13. Huecos	
2. Exudación	8. Grieta de reflexión de junta	14. Cruce de vía ferrea	
3. Agrietamiento en bloque	9. Desnivel carril/berma	15. Ahuellamiento	
4. Abultamientos y hundimientos	10. Grietas longitudinales y transversa	16. Desplazamiento	
5. Corrugación	11. Parcheo	17. Grieta parabólica	
6. Depresión	12. Pulimiento de agregados	18. Hinchamiento	
		19. Desprendimiento de agregados	

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	H	10								10.00	4.9%	52.00
1	M	9								9.00	4.4%	37.00
10	M	10								10.00	4.9%	12.00
11	M	02	04	09	14	15	4	3	12	23.40	11.5%	34.00
15	M	10.5								10.50	5.1%	35.00
19	M	10								10.00	4.9%	13.00
3	M	1.8								1.80	0.9%	1.00

PCI

12



**ANEXO 3.7**

**DETALLES DE LOS APARATOS Y MATERIALES PARA LA MEDICIÓN CON  
LA VIGA BENKELMAN**



**ANÁLISIS DEFLEXTOMETRICO**

**Viga Benkelman (ASTM D-4695) / (MTC E1002-2000)**

OBRA	:	REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE LA AVENIDA HARTLEY	Certificado:	C-0001
TRAMO	:	TRAMO I	Hecho por:	J. F. L. B.
CALZADA	:	DERECHA	Fecha:	06-12-15
CARRIL	:	DERECHO		
ESTRUCTURA	:	ASFALTO		
PROGRESIVA	:	0+000 al 1+000		

Equipo:	Viga Benkelman Marca Pinzuar- Modelo PA-74 Serie N°022	Relación de Brazo:	4:1
Dial:	TYPE J08 0,01 - 25 mm.	Conversión a mm:	1.00
Camión:	Dodge, Placa V2W-817	Para Expresar en mm:	1.00
Peso:	8400 Kg. (Con carga en el Eje Posterior)	Deflex. Máx. Admisible (x 10-2mm):	
Llantas:	10" x 20" ( 18 LONAS)	Factor de Estacionalidad:	1.00
Presión:	80 Psi (Presión de Inflado y en Buen Estado)	Espesor del Pavim.Promedio (cm):	7.0

**MEDICIÓN DE DEFLEXIONES EN CAMPO**

PROGRESIVA KM	LECTURAS			TEMPERATURA		FECHA	HORA p.m	OBSERVACIONES
				°C				
	Lo	L <sub>25</sub>	L <sub>500</sub>	AMB.	PAV.			
0+050	100.0	98.2	92.00	19.2	43.6°	06/12/2015	09:40	
0+100	100.0	99.3	88.00	19.6	46.0°	17/05/2014	09:45	
0+150	100.0	98.5	92.00	19.6	46.1°	17/05/2014	09:49	
0+200	100.0	96.0	83.00	20.1	46.0°	17/05/2014	09:53	
0+250	100.0	98.5	94.00	21.2	46.1°	17/05/2014	09:57	
0+300	100.0	94.8	80.00	21.4	38.4°	17/05/2014	10:01	
0+350	-	-	-	-	-	17/05/2014	-	
0+400	100.0	97.6	85.00	22.3	38.6°	17/05/2014	10:08	
0+450	100.0	99.6	98.00	24.3	47.0°	17/05/2014	10:12	
0+500	100.0	96.7	87.00	24.5	47.6°	17/05/2014	10:17	
0+550	100.0	94.4	77.00	25.1	50.6°	17/05/2014	10:21	
0+600	100.0	97.7	88.00	25.4	49.0°	17/05/2014	10:25	
0+650	100.0	98.9	96.00	26.1	52.0°	17/05/2014	10:28	
0+700	100.0	95.8	82.00	26.1	51.0°	17/05/2014	10:31	
0+750	100.0	96.7	87.00	26.5	51.7°	17/05/2014	10:34	
0+800	100.0	99.7	99.00	26.4	50.9°	17/05/2014	10:38	
0+850	100.0	95.5	83.00	28.1	52.7°	17/05/2014	10:41	
0+900	100.0	97.4	89.00	28.5	56.0°	17/05/2014	10:44	
0+950	100.0	97.7	86.00	28.2	53.4°	17/05/2014	10:47	
1+000	100.0	97.9	91.00	28.6	54.0°	17/05/2014	10:51	



**TECNICALAB SRL**  
Jackeline V. Nieto Garcia  
R.O.C. 15011  
C.P. 91697

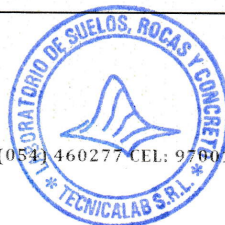


**ANÁLISIS DEFLEXTOMETRICO**

**Viga Benkelman (ASTM D-4695) / (MTC E1002-2000)**

OBRA	:	REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE LA AVENIDA HARTLEY		
TRAMO	:	TRAMO I	Certificado:	C-0001
CALZADA	:	DERECHA	Hecho por:	J. F. L. B.
CARRIL	:	DERECHO	Fecha:	06/12/2015
ESTRUCTURA	:	ASFALTO		
PROGRESIVA	:	0+000	al	1+000

**PANEL FOTOGRAFICO**



**TECNICALAB SRL.**

Jackeline V. Nieto Garcia

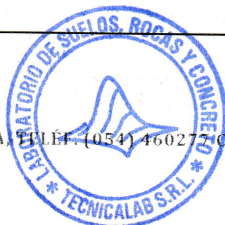


**ANÁLISIS DEFLEXTOMETRICO**

**Viga Benkelman (ASTM D-4695) / (MTC E1002-2000)**

OBRA	:	REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE LA AVENIDA HARTLEY		
TRAMO	:	TRAMO I	Certificado:	C-0001
CALZADA	:	DERECHA	Hecho por:	J. F. L. B.
CARRIL	:	DERECHO	Fecha:	06/12/2015
ESTRUCTURA	:	ASFALTO		
PROGRESIVA	:	0+000	al	1+000

**PANEL FOTOGRAFICO**



**TÉCNICALAB S.R.L.**



**TÉCNICALAB SRL.**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
ROCAS, CONCRETOS  
Y PAVIMENTOS

COMERCIALIZACION Y SERVICIOS EL EDEN S.A.C.

**TICKET DE PESO**

N° 0000156750

FECHA : 05/12/2015 HORA : 08:49:15

PP : CONTADO

VEHICULO : VWV-817

19 P.880

**8400 Kg.**

\*\*\* GRACIAS POR SU PREFERENCIA \*\*\*



## APARATOS Y MATERIALES PARA LA MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN



Viga Benkelman marca Pinzuar – modelo PA-74

Viga Benkelman marca Pinzuar – modelo PA-74



Camión con el eje trasero simple

Llanta de 10" x 20" de 18 lonas



Balanza digital para pesaje de camion



Plataforma de balanza



Termometro 0-100 °C



Termometro 0-100 °C



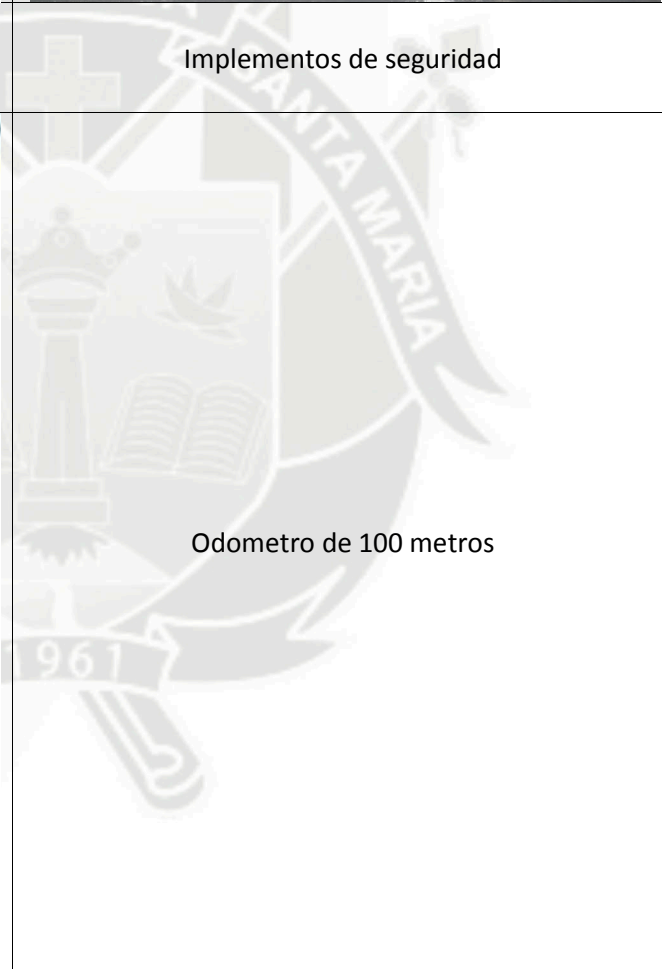
Implementos de seguridad

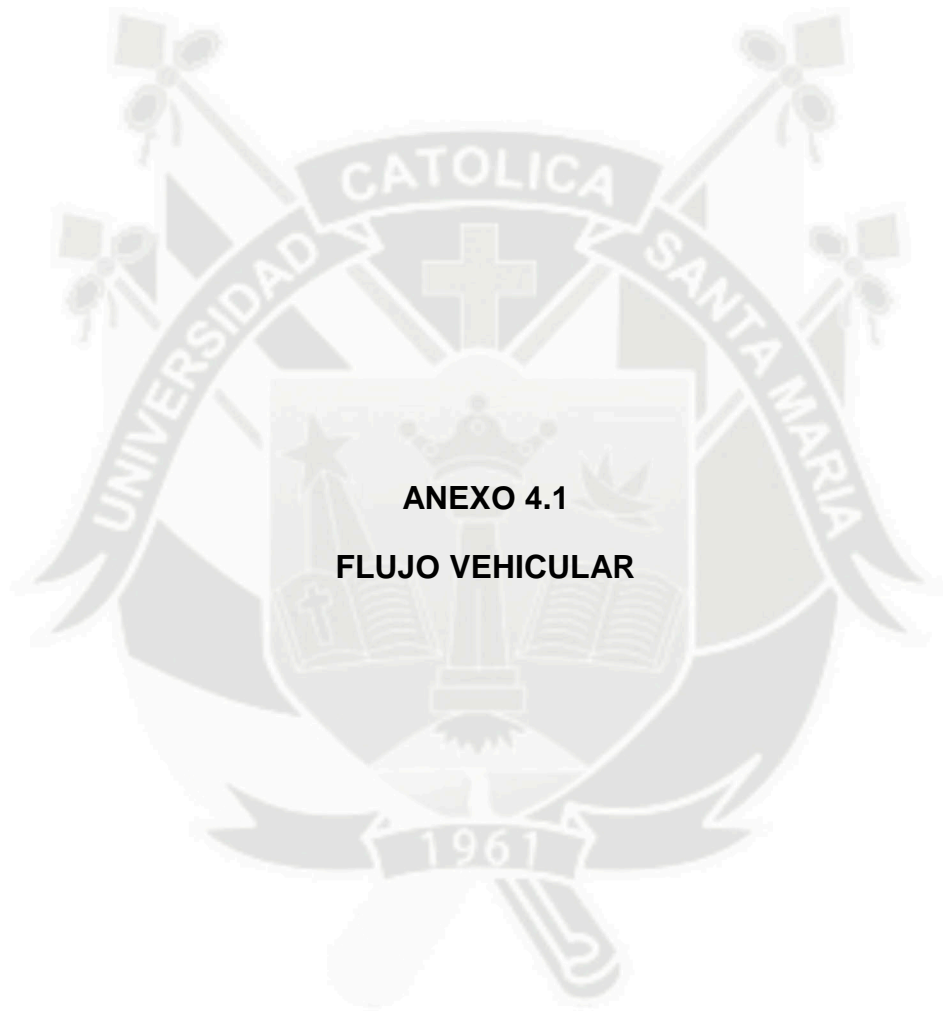


Implementos de seguridad



Odometro de 100 metros





**ANEXO 4.1**  
**FLUJO VEHICULAR**

Quadro Nº A1-1  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: LUNES 23 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA

DIRECCION SUBIDA

Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS			CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS						TOTAL	%	
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	83	4		1														88	1%
1-2	46	6		1														56	0%
2-3	55	4																63	0%
3-4	66	4		1														73	0%
4-5	103	21	8	10	1	1												147	1%
5-6	322	34	29	56	4	1												451	3%
6-7	537	66	56	103	2	1												776	5%
7-8	738	189	83	155	6													1198	7%
8-9	660	104	76	139	3	1												998	6%
9-10	632	140	66	124	2													979	6%
10-11	657	116	63	120	3	1												978	6%
11-12	664	144	63	120	2													1009	6%
12-13	705	112	62	116	3													1023	6%
13-14	728	116	67	129	5													1062	6%
14-15	613	133	67	129	4	1												966	6%
15-16	571	150	42	82	5													863	5%
16-17	604	123	58	107	3													911	5%
17-18	669	123	49	91	7													951	6%
18-19	791	163	67	128	2													1166	7%
19-20	706	150	70	133	2	1												1076	6%
20-21	739	63	34	61	1	2												912	5%
21-22	563	42	28	54	3													695	4%
22-23	311	28	7	10														359	2%
23-24	58	4	3	7														73	0%
Total	11621	2099	998	1877	58	9	164	60	11	5	9	5	6	2	1	3	5	16873	100%
%	68.87%	12.08%	5.91%	11.12%	0.34%	0.06%	0.97%	0.36%	0.07%	0.03%	0.06%	0.03%	0.04%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	100.00%	

Quadro Nº A1-2  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: MARTES 24 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA

DIRECCION SUBIDA

Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS			CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS						TOTAL	%	
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	98	3		1														102	1%
1-2	82	2																84	1%
2-3	79	2																81	1%
3-4	62			1														63	0%
4-5	173	19	25	28														254	2%
5-6	535	89	72	81	3													792	5%
6-7	814	132	130	146	4	1												1243	8%
7-8	732	147	116	130	2	1												1143	7%
8-9	641	139	99	111	2	1												1007	6%
9-10	607	124	114	128	3	1												992	6%
10-11	634	135	93	105	2	1												983	6%
11-12	612	124	88	99	3	1												939	6%
12-13	413	128	108	121	2													787	5%
13-14	425	112	97	109	2	1												759	5%
14-15	480	139	109	123	3	1												865	6%
15-16	521	170	90	101	6	1												907	6%
16-17	518	190	81	91	3													891	6%
17-18	586	163	88	99	6													952	6%
18-19	610	151	77	87	4													940	6%
19-20	504	74	61	69	5	1												718	5%
20-21	312	58	49	55	5													483	3%
21-22	329	21	34	38	3													431	3%
22-23	142	6	14	16	2													183	1%
23-24	96	2																98	1%
Total	10005	2130	1545	1739	60	10	104	64	19	5	4	3	4	1		2	3	15698	100%
%	64%	14%	10%	11%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	100.00%	

Quadro Nº A1-3  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: MIERCOLES 25 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA

DIRECCION SUBIDA

Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS			CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS						TOTAL	%	
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	112	2																114	1%
1-2	79	3																87	1%
2-3	85	3																91	1%
3-4	249	12	1	3														270	2%
4-5	140	23	3	6														183	1%
5-6	787	98	11	25	1	1												994	6%
6-7	1377	117	10	22	2	1												1546	9%
7-8	872	129	63	146	1													1229	7%
8-9	739	125	56	129	1													1072	7%
9-10	681	125	58	135	2													1023	6%
10-11	638	125	63	146	1													996	6%
11-12	614	117	58	135	2													950	6%
12-13	587	136	68	157	2													981	6%
13-14	584	110	62	143	2	1												933	6%
14-15	480	87	51	118	2													754	5%
15-16	489	113	56	129	2	1												806	5%
16-17	492	106	52	121	2	1												788	5%
17-18	529	125	53	123	4	1												851	5%
18-19	568	117	45	104	3	1												852	5%
19-20	502	76	39	90	5	1												726	4%
20-21	383	42	29	67	2	1												529	3%
21-22	343	42	17	39	1													450	3%
22-23	161	19	6	14	1													203	1%
23-24	100	8	3	6	1													119	1%
Total	11591	1860	804	1859	48	9	181	86	15	6	7	8	4	5	2	2	1	16487	100%
%	70%	11%	5%	11%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100.00%	

Fuente y elaboración propias



Cuadro Nº A1-7  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: DOMINGO 29 DE NOVIEMBRE DEL 2015  
 DIRECCION SUBIDA

Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%	
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	212	213	312			313
0-1	68	8					1	1										78	1%
1-2	49	3																52	0%
2-3	63	3															1	67	1%
3-4	82	5		2														89	1%
4-5	179	16		8														203	2%
5-6	179	29	13	33			1				4							259	2%
6-7	265	19	27	69	2		4	2										389	3%
7-8	677	109	44	114	3	1	8	3	1						2		1	962	9%
8-9	663	117	45	116	5	1	10	3			1		2	1			1	965	9%
9-10	590	117	40	104	3		15	6	1		1							867	8%
10-11	553	109	44	114	2		14	1				1	2					840	7%
11-12	452	88	38	98	3		9			1	1							690	6%
12-13	410	101	46	120	4		11	1	1		1							695	6%
13-14	367	66	36	93	5		7	1		2	2							579	5%
14-15	367	80	34	88	2		8	2		1								583	5%
15-16	412	69	31	78	4		12	1	1	2		1		1				613	5%
16-17	376	66	31	79	4		6	1	1									564	5%
17-18	387	96	27	71	7		9	3	1					1				602	5%
18-19	421	72	24	62	3	1	6	1		1		1		1				593	5%
19-20	385	61	24	62	1		9	1										543	5%
20-21	345	43	11	29	4	2	9						2					445	4%
21-22	284	43	4	10	3	1	6	2									1	354	3%
22-23	88	24	4	10			5	1										132	1%
23-24	89	8	2	6			1	1										107	1%
Total	7741	1352	525	1368	56	6	151	31	6	8	5	7	8	4	1		3	11271	100%
%	69%	12%	5%	12%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	100%	

Quadro Nº A1-10  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: LUNES 23 DE NOVIEMBRE DEL 2015

DIRECCION BAJADA																				
VEHICULOS LIGEROS					BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%		
Hora	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
0-1	94	6					1		1										102	1%
1-2	54						1		1										56	0%
2-3	77								1									1	79	1%
3-4	87								1										89	1%
4-5	92	17	11	26	5	1	5	1	1		1		1						161	1%
5-6	128	47	26	61	2	1	4	2	1		1	1							274	2%
6-7	468	50	48	113	4	1	5	2			1							1	693	5%
7-8	705	107	69	162	2		13	4							1				1063	8%
8-9	696	103	54	127	2		19	6	1	1				1					1010	7%
9-10	497	110	52	122	1		11	6	1										800	6%
10-11	468	84	46	108	1		12	5			1			1					726	5%
11-12	494	90	49	115	2		14	4		1	1	1		1					772	6%
12-13	562	119	55	129	2		17	6			1								891	6%
13-14	468	69	50	118	3		19	6	1				1	1					736	5%
14-15	461	87	51	120	4		21	3					1						748	5%
15-16	497	98	46	109	3		13	2		1					1				770	6%
16-17	548	116	49	116	4	1	15	2	1					1	1				854	6%
17-18	618	154	52	123	7		20	2	1		1							1	979	7%
18-19	639	148	34	79	10	1	11	2							1				925	7%
19-20	527	110	38	89	3		16	3				1							787	6%
20-21	410	46	27	63	2	2	4	1						1					556	4%
21-22	356	35	17	40	2		3												454	3%
22-23	173	29	5	12	3			1											223	2%
23-24	94	3	3	7															107	1%
Total	9213	1628	782	1838	64	7	224	62	7	3	7	6	6	4				3	13855	100%
%	66%	12%	6%	13%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	

Quadro Nº A1-11  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: MARTES 24 DE NOVIEMBRE DEL 2015

DIRECCION BAJADA																				
VEHICULOS LIGEROS					BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%		
Hora	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
0-1	46	1																	47	0%
1-2	40	2						2	1										45	0%
2-3	32	1																	33	0%
3-4	94		2	2				2											100	1%
4-5	109	6	7	9				2	2	1									136	1%
5-6	246	32	45	57	2		3	1						1	1	1		1	390	3%
6-7	489	130	77	98	1		5	2			1								803	6%
7-8	492	115	77	98	2		9	8				1			1	1			804	6%
8-9	563	127	88	112	3	1	7	2			1		1	1	1	1	1		927	7%
9-10	545	146	92	117	2	1	8	3				1	1						915	7%
10-11	675	70	76	97	1		9	4	1		1	1						1	936	7%
11-12	658	124	65	83	1	1	8	3		1	1	1							946	7%
12-13	456	115	83	105	2		10	5	1					1					778	6%
13-14	494	121	86	109	2		9	4	1					1				1	828	6%
14-15	434	115	76	97	3		6	2	1		2	1							737	5%
15-16	470	138	64	81	2		8	1	1					1				1	767	6%
16-17	422	127	49	62	1		11	4					2						678	5%
17-18	552	102	60	76	3		9	1	1					2					807	6%
18-19	608	98	69	88	2		8	6			1		1	1					881	7%
19-20	639	65	77	98	1		8	3	1					1					893	7%
20-21	338	29	23	29		2	4	2		1		1			1				430	3%
21-22	229	28	17	22	1		2	1			1								301	2%
22-23	193	11	17	21	1		1				1								245	2%
23-24	60	6	8	10	1														85	1%
Total	8904	1709	1158	1471	31	5	131	54	9	6	6	8	7	5	3	1	4		13512	100%
%	66%	13%	9%	11%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	

Quadro Nº A1-12  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: MIERCOLES 25 DE NOVIEMBRE DEL 2015

DIRECCION BAJADA																				
VEHICULOS LIGEROS					BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%		
Hora	Autos	Pick up	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
0-1	57	5							1				1						64	1%
1-2	26	4							2										33	0%
2-3	34	2							2	2									40	0%
3-4	46	8							1										56	0%
4-5	47	9	2	2	6				3										69	1%
5-6	358	58	12	13	3				2	1									447	4%
6-7	528	49	9	10					3	1									600	5%
7-8	480	116	78	83	3				8	6	1								776	6%
8-9	470	101	80	85	3	1			8	3	1		2						754	6%
9-10	408	110	75	80	1	1			8	4	2								689	6%
10-11	428	98	80	85	3	1			11	4									710	6%
11-12	416	110	70	74	2	1			11	3									690	6%
12-13	673	110	81	86	6	1			12	2				1			1	3	994	8%
13-14	482	95	82	87	4				11	6	2			1					771	6%
14-15	341	76	56	59	3				6	3									544	4%
15-16	424	113	65	69	3				6	2									682	6%
16-17	381	98	63	67	3				8	2									622	5%
17-18	457	98	67	71	6				5	1				1					706	6%
18-19	550	101	57	61	3				5	2	2		1	1					786	6%
19-20	544	86	74	79	2				6	2	2			1					796	6%
20-21	463	49	36	38		1			5	1				1					594	5%
21-22	366	43	23	24	2				3	1									463	4%
22-23	215	21	13	14					1	1								1	266	2%
23-24	120	9	8	8					1	1									147	1%
Total	8314	1569	1031	1095	53	7	129	49	10	6	7	7	5	1	1	3	11		12298	100%
%	67.6%	12.8%	8.4%	8.9%	0.4%	0.1%	1.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	100%	

Fuente y elaboración : Propias



Quadro Nº A1-13  
CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: JUEVES 26 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA																			
Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%	
	Autos	Pickup	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	42	2			1													45	0%
1-2	31	4					2											37	0%
2-3	34	2					1											37	0%
3-4	40	1		1				1										43	0%
4-5	108	18	10	14	2		2											155	1%
5-6	373	48	40	47	1		2	3	1									515	4%
6-7	563	60	75	89	2		1	4	1		1							797	6%
7-8	754	127	91	108	1			8	3	2	1	1			1		1	1098	8%
8-9	639	127	79	93	1			9	4		1	1	1			1		968	7%
9-10	559	100	75	89	1			9	3									836	6%
10-11	501	94	69	82	1			7	2			1						757	5%
11-12	442	103	65	77	1			7	3					1				699	5%
12-13	425	124	75	89	1			8	4		1	1						729	5%
13-14	457	97	79	93	2			10	4				1					743	5%
14-15	368	75	65	77	2			6	2	2								597	4%
15-16	509	130	95	112	2			10	3				1		1			863	6%
16-17	516	121	88	104	2		1	8	4				1		1			847	6%
17-18	559	148	90	106	4			7	2	2			1				1	922	7%
18-19	598	133	74	87	4			6	1				1					904	7%
19-20	514	75	59	70	5		1	4	4				1					733	5%
20-21	451	60	60	71	2			4	1									649	5%
21-22	407	66	25	41	2			7	1					1				550	4%
22-23	184	27	11	16	1			2	1									242	2%
23-24	117	3		5	1			2										128	1%
Total	9191	1745	1225	1471	39	6	127	44	6	5	4	3	7	5	2		2	13882	100%
%	68%	13%	9%	11%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	100%	

Quadro Nº A1-14  
CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: VIERNES 27 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA																			
Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%	
	Autos	Pickup	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	55	3					1		1									59	0%
1-2	39	3					1		3	1								47	0%
2-3	29	2					1		2	1								35	0%
3-4	50	2					1		3	1								57	0%
4-5	87	8	2	6	1			3	1									108	1%
5-6	290	27	30	76	4			4	1									432	3%
6-7	497	138	43	108	3			8	3	1								801	5%
7-8	665	155	61	155	5		1	20	7	1			1					1072	7%
8-9	650	138	62	157	6		1	18	4		1				1			1039	7%
9-10	487	152	53	135	2		1	17	7		1	1						866	6%
10-11	497	118	50	125	2			19	6								1	818	6%
11-12	490	108	41	103	1			17	5									767	5%
12-13	451	108	48	120	2			19	7	1								758	5%
13-14	604	10	58	147	4			20	9	1		1						855	6%
14-15	426	10	41	103	2			11	4		1							598	4%
15-16	470	152	45	113	3			14	1	1			1					800	5%
16-17	417	135	35	88	3			18	4			1						701	5%
17-18	558	108	43	108	7			16	1	1				2				845	6%
18-19	697	108	50	125	4			15	7			1			1			1009	7%
19-20	731	74	55	140	3			15	3	1					1			1023	7%
20-21	801	67	34	86	1		2	10	1	1			1					1004	7%
21-22	514	61	21	52	2		1	6	1									658	4%
22-23	322	13	6	15				4	1									361	2%
23-24	77	2	3	7	1			1										91	1%
Total	9904	1702	781	1969	59	6	264	76	8	4	8	4	6		2		1	14794	100%
%	67%	12%	5%	13%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	100%	

Quadro Nº A1-15  
CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: SABADO 28 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA																			
Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%	
	Autos	Pickup	C.R.	Micros	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			3T3
0-1	34	2			1													37	0%
1-2	10	1																12	0%
2-3	32	1			1													34	0%
3-4	31	2						2										36	0%
4-5	98	6	5	14	5			2									1	131	1%
5-6	136	24	15	40	1			4	1									221	2%
6-7	149	21	26	70	2		2	4	1									275	2%
7-8	599	115	58	154				24	3	1	1		1				1	959	8%
8-9	608	119	52	138	1			24	3	2	1							948	8%
9-10	578	93	51	135	1			24	3	2								891	7%
10-11	527	108	51	135	1			23	3	3								866	7%
11-12	497	93	42	112	2			23	3		1			2				777	6%
12-13	558	110	51	135	2			29	4					2				882	7%
13-14	427	93	37	98	4			26	4			1				1		693	6%
14-15	459	72	40	107	4			17	2									702	6%
15-16	466	98	37	100	2		2	18	3			1						726	6%
16-17	457	84	31	84	1			18	3		1							679	6%
17-18	473	119	28	75	3			12	2					2				714	6%
18-19	507	84	33	89	4		2	12	2									733	6%
19-20	472	69	20	54	1		1	5	1									623	5%
20-21	383	36	22	58	1			7	1								1	510	4%
21-22	363	41	13	35	1			8						2				464	4%
22-23	219	19	5	14	1			4										262	2%
23-24	54	10	1	2	1			4										72	1%
Total	8137	1420	618	1649	42	7	290	39	8	4	8	5	8	4	2	3	3	12247	100%
%	66%	12%	5%	13%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	

Fuente y elaboración: Propias

Cuadro N° A1-16  
 CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

FECHA: DOMINGO 29 DE NOVIEMBRE DEL 2015

TRAMO AV. HARTLEY - AREQUIPA

DIRECCION BAJADA

Hora	VEHICULOS LIGEROS				BUS		CAMIONES UNITARIOS			CAMIONES ACOPLADOS							TOTAL	%	
	AUTOS	PICKUP	C.R.	MICROS	2E	3E	2E	3E	4E	ZS2	ZS3	JS2	JS3	Z12	Z13	312			313
0-1	43	1																44	1%
1-2	27	6																33	0%
2-3	36	2																37	1%
3-4	53	3		1														57	1%
4-5	119	9	2	6	2	4	12	2										156	2%
5-6	120	13	10	27	1	3	1	1										176	2%
6-7	179	9	21	58	1		6	2					1				1	278	4%
7-8	449	50	28	78			6	1		1			1					614	8%
8-9	384	47	26	74	1		9	3								2		546	8%
9-10	397	56	26	74	1		15	7	2	2			2			1		583	8%
10-11	306	48	27	76	1		9	3				2						472	7%
11-12	286	39	24	69			7	2			1							428	6%
12-13	261	47	26	72	1		9	4			1			2	2			425	6%
13-14	232	50	21	59	2		9	1			2		4					380	5%
14-15	236	56	24	68	1		9	3	4									400	6%
15-16	282	72	18	52	2		10	1									1	438	6%
16-17	270	52	18	50	1		7	2		1								401	6%
17-18	295	61	18	50	1		5	1				2						433	6%
18-19	289	67	14	40	2		7	1										420	6%
19-20	244	41	14	40	9		6	2										356	5%
20-21	205	23	6	16	1		3					1					1	256	4%
21-22	162	28	1	4	1		10	1					2					209	3%
22-23	34	6	1	3			1	1				1						47	1%
23-24	27	3	1	3			1											35	0%
Total	4935	798	326	920	28	7	142	38	6	3	5	8	8	2	2	3	3	7224	100%
%	68%	11%	5%	13%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	





**ANEXO 5.1**

**ANALISIS EN 3D-MOVE ANALYSIS**



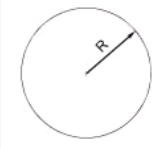
Option B : User-Selected Pre-Defined Axle/Tire Configuration (Uniform Pressure)

Reference Title for Axle

Tire Pressure  psi      Tire Load  lb

Geometry of Loaded Area

Circle       Ellipse       Rectangle



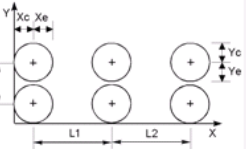
Note :

$$R = \sqrt{\frac{\text{Tire Load}}{\pi \times \text{Tire Pressure}}}$$

Calculated R  in

Axle Spacing

L1  in      L2  in      S1  in



Friction Coefficient

Rolling Friction Coefficient

Bracking Friction Coefficient

Note :  
Default for Friction Coefficient is zero.

Xc = 4.886 in      Yc = 4.886 in  
Xe = 4.886 in      Ye = 4.886 in

Note :

- As many as , six Single Loaded Areas can be specified
- A Single Tire can be represented by using S1 = L1 = L2 = 0
- A Single Axle Dual Tire can be represented by L1 = L2 = 0 and S1 ≠ 0
- A Tandem Axle Dual Tire can be represented by L2 = 0 and S1 ≠ 0 , L1 ≠ 0
- L1 > Xc+Xe, L2> Xc+Xe, and S1 > Yc+Ye.

**Figura A.2 Selección y Configuración del tipo de carga**

Pavement Structure

Unit Converter : Length

Layer No	Layer Type	Material Charaterization	Thickness (in)
1	Asphalt	Linear Elastic	2.165
2	Base	Linear Elastic	10
3	Subgrade	Linear Elastic	0

Note :

-Layer No.1 represents the top/surface layer  
-For semi infinite depth, enter zero for last layer.

**Figura A.3 Definición de los espesores de la estructura del pavimento**

**Pavement Layer Properties - Layer 1**

Layer Thickness  in

**Linear Elastic Material Properties**

Elastic Modulus, E  psi

Damping Ratio  %

**Poisson's Ratio**

Constant Poisson's Ratio

Poisson's Ratio from Model [Click to see the Poisson's Ratio Model](#)

Parameter a  Parameter b

Calculated Poisson's Ratio from Model

Note :  
a and b are constants. Typical Values : a = -1.63 and b = 3.84E-6

Layer Temperature  °F

**Figura A.4 Propiedades de la carpeta asfáltica**

**Pavement Layer Properties - Layer 2**

Layer 2 Thickness  in

**Material**

Standard Material Type

Range of E value is between 35500 - 40000.  
Typical Value of E is 38000

Elastic Modulus, E  psi

CBR

R Value

**E vs CBR Relationship**

Poisson's Ratio

Damping Ratio  %

Unit Weight  lb/in<sup>3</sup>

Depth to Ground Water Table  in  
(Measured from the pavement surface)

Depth to Bed Rock  in  
(Measured from the last layer surface)

**Figura A.5 Propiedades de la base.**

**Pavement Layer Properties - Layer 3**

Layer 3 Thickness  in

**Material**

Standard Material Type

Range of E value is between 28000 - 37500.  
Typical Value of E is 32000

Elastic Modulus, E  psi

CBR

R Value

E vs CBR Relationship  
 $E = 2555(CBR)^{0.65}$

Poisson's Ratio

Damping Ratio  %

Unit Weight  lb/in<sup>3</sup>

Depth to Ground Water Table (Measured from the pavement surface)  in

Depth to Bed Rock (Measured from the last layer surface)  in

**Figura A.6 Propiedades de la subrasante**

**Response Points - Static**

Individual Response Points | Response Data Array | Graphical Display

Response Points Unit Converter: Length

No	X-Coordinate (in)	Y-Coordinate (in)	Z-Coordinate (in)	Layer No
1	4.886	4.886	1.0825	1
2	4.886	4.886	2.1434	1
3	4.886	4.886	7.165	2
4	4.886	4.886	12.265	3

In case where a response is needed at an interface:  
For the top layer : z = Depth of layer  
For the top of bottom layer : z = Depth of layer + 0.001 in

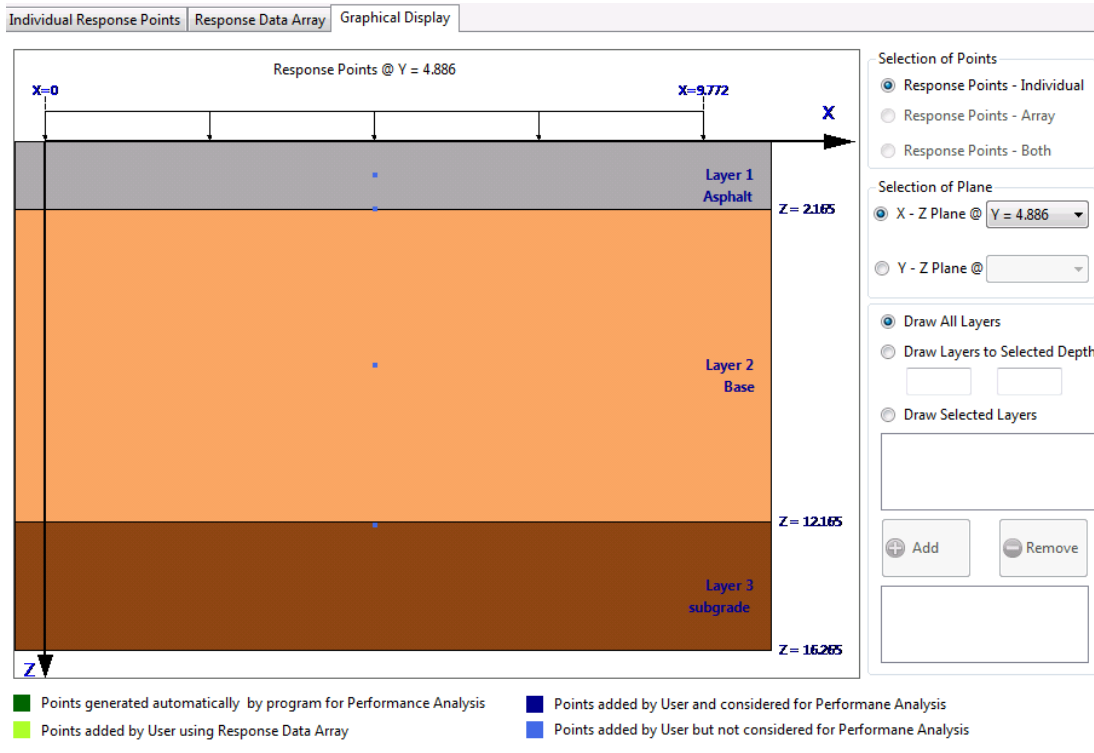
- Points generated automatically by program for Performance Analysis (Fixed Points)
- Points added by User and considered for Performance Analysis
- Points added by User but not considered for Performance Analysis

**Vehicle Speed = 0 km/h ( Static )**

Layer	Thickness (in)
Layer1 - Asphalt	2.165
Layer2 - Base	10
Layer3 - Subgrade	0 (Semi-infinite)

$L1 = 0.00$  in     $Xc = 4.886$  in    Note:  
 $L2 = 0.00$  in     $Yc = 4.886$  in    C = Center of Loaded Area  
 $S1 = 0.00$  in     $Xe = 4.886$  in    E = Edge of Loaded Area  
 $Ye = 4.886$  in     $Yc + Ye =$  Edge to Edge Contact Area Width  
 $Xc + Xe =$  Edge to Edge Contact Area Length

**Figura A.7 Definición de los puntos de respuesta.**



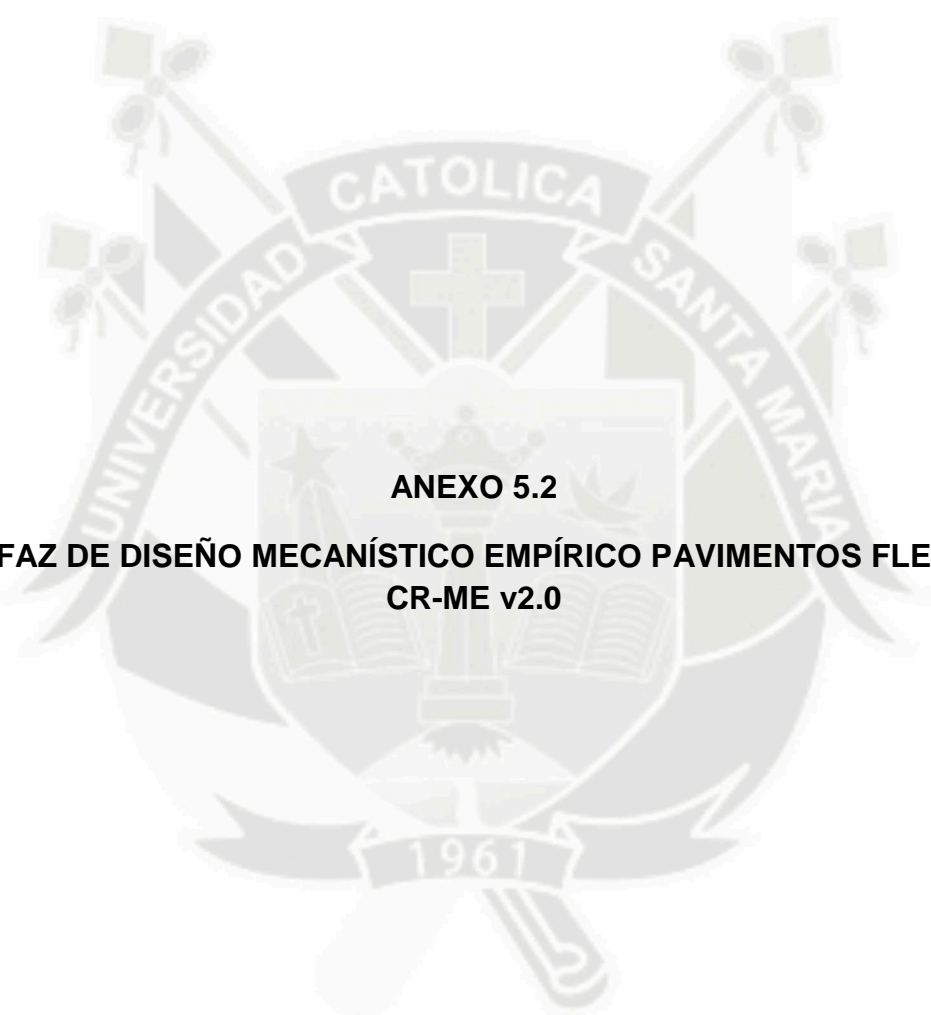
**Figura A.8 Visualización grafica de la aplicación de la carga.**

**Static Output - Normal Strain**

Point No	X-Coord (in)	Y-Coord (in)	Z-Coord (in)	Normal Strain X-X (Micro-Strain)	Normal Strain Y-Y (Micro-Strain)	Normal Strain Z-Z (Micro-Strain)
1	4.886	4.886	1.0825	0.53091E+02	0.52992E+02	0.13230E+03
2	4.886	4.886	2.1434	-0.44745E+03	-0.45052E+03	0.56677E+03
3	4.886	4.886	7.165	-0.39635E+03	-0.39728E+03	0.10077E+04
4	4.886	4.886	12.265	-0.43537E+03	-0.43584E+03	0.11428E+04

**Figura A.9 Datos de salida, deformaciones en 3D-Move Analysis**





**ANEXO 5.2**  
**INTERFAZ DE DISEÑO MECANÍSTICO EMPÍRICO PAVIMENTOS FLEXIBLES**  
**CR-ME v2.0**

## Factores de conversión para el uso del software

$$1 \text{ PSI} = 0.00689476 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ PSI} = 6.89476 \text{ Kpa}$$

Guía de Diseño de Pavimentos Flexibles CR-ME



## Interfaz de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos Flexibles CR-ME v2.0

# CR-ME

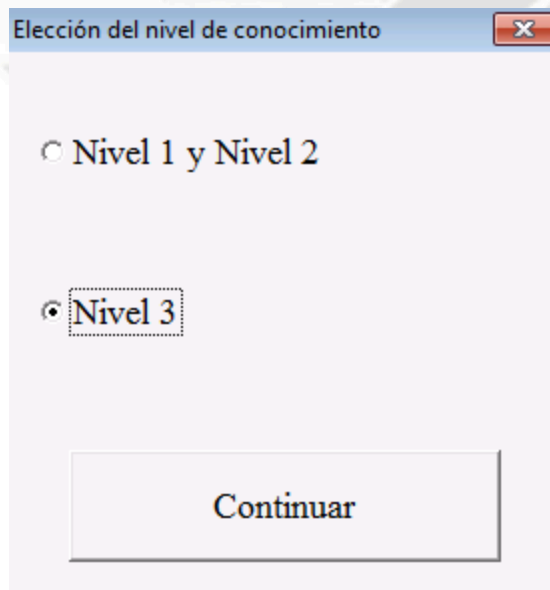
INTERFAZ GRÁFICA PARA EL DISEÑO  
MECANÍSTICO EMPÍRICO  
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN COSTA RICA

Elija la estimación de espesores con el método AASHTO 93 para tener un valor inicial de los espesores o inicie la verificación de su diseño.

Estimación de espesores con AASHTO 93

Diseño de pavimentos CR-ME

**Figura B.1. Interfaz de bienvenida**



**Figura B.2. Diseño de pavimento flexible con el NIVEL 3**

Tráfico

Elija una de las dos opciones.

- Cálculo de ESAL por medio de factores camión.
- Valor de ESAL dado por el usuario Valor de ESAL dado por el usuario.

Siguiente

Nivel 3: Tráfico

ESAL en el primer año:

Vida útil esperada (años):

Crecimiento vehicular por año (%):

Continuar

**Figura B.3. Datos de entrada Tráfico Nivel 3**

Temperaturas elegidas				
	Precipitación, mm	Temperatura, C	Temp Estación Seca, C	Meses Secos
Enero	25.91	15.9	15.70	8
Febrero	68.32	14.2	Temp Estación Lluvios, C	Meses Lluviosos
Marzo	53.35	14.4	14.90	4
Abril	0	15.5		
Mayo	0	15.1		
Junio	0	15.3		
Julio	0	14.1		
Agosto	20.07	15.1		
Setiembre	0	15.6		
Octubre	0	16.3		
Noviembre	0	16.3		
Diciembre	0	17.4		
Promedio	14			

CALIBRACION DE TEMPERATURA AREQUIPA

**Figura B.4. Datos de entrada Clima Nivel 3**

Estructura y materiales X

Datos llanta | Carpeta asfáltica | Base 1 | Base 2 | Subbase 1 | Subbase 2 | Subrasante |

Presión de llanta (KPa)  Valor recomendado: 690 KPa

Carga de la llanta (KN)  Se establece este valor pues se está utilizando el concepto de ejes equivalentes de carga.

-Si tiene tres capas, coloque 0 en los valores de Base 2, Subbase 1 y Subbase 2. -Si tiene cuatro capas, coloque 0 en los valores Base 2 y Subbase 2.  
-Si tiene cinco capas, coloque 0 en los valores Subbase 2.

Anterior | Siguiente | Guardar | Debe dar click en Siguiente para guardar los datos

**Figura B.5. Datos de presión de llanta (120 Psi)**

Estructura y materiales X

Datos llanta | Carpeta asfáltica | Base 1 | Base 2 | Subbase 1 | Subbase 2 | Subrasante |

**Datos Carpeta asfáltica**

Espesor (mm)  Contenido de asfalto efectivo (%), Vb  Valores típicos: 4.0-6.5%

Módulo (MPa)  Contenido de vacíos (%), Va  Valor típico: 4%

Razón de

-Si tiene tres capas, coloque 0 en los valores de Base 2, Subbase 1 y Subbase 2. -Si tiene cuatro capas, coloque 0 en los valores Base 2 y Subbase 2.  
-Si tiene cinco capas, coloque 0 en los valores Subbase 2.

Anterior | Siguiente | Guardar | Debe dar click en Siguiente para guardar los datos

**Figura B.6. Datos de la carpeta asfáltica (5.5 cm).**

Estructura y materiales

Datos llanta | Carpeta asfáltica | **Base 1** | Base 2 | Subbase 1 | Subbase 2 | Subrasante

### Datos Base 1

Espesor (mm)	<input type="text" value="250"/>	<input type="button" value="Valores típicos"/> Para conocer valores típicos de módulo resiliente según el material, dé click en el botón valores típicos.
Módulo resiliente (MPa)	<input type="text" value="244"/>	
Razón de Poisson	<input type="text" value="0.35"/>	

-Si tiene tres capas, coloque 0 en los valores de Base 2, Subbase 1 y Subbase 2. -Si tiene cuatro capas, coloque 0 en los valores de Base 2 y Subbase 2.  
-Si tiene cinco capas, coloque 0 en los valores de Subbase 2.

Debe dar click en Siguiete para guardar los datos

**Figura B.7. Datos de la base (25 cm).**

Estructura y materiales

Datos llanta | Carpeta asfáltica | Base 1 | Base 2 | Subbase 1 | Subbase 2 | **Subrasante**

### Datos subrasante

Módulo resiliente (MPa)	<input type="text" value="78"/>	<input type="button" value="Valores típicos"/> Para conocer valores típicos de módulo resiliente según el material, dé click en el botón valores típicos.
Razón de	<input type="text" value="0.35"/>	
Porcentaje de Saturación Óptimo, S <sub>ópt</sub> (por ejemplo en la pista del HVS, S <sub>ópt</sub> =51%)	<input type="text" value="12.1"/>	

Debe dar click en Siguiete para guardar los datos

**Figura B.8. Datos de la subrasante (CBR: 10.3%)**

## VERIFICACIÓN DE DESEMPEÑO

<b>ESAL diseño</b>	7,064,788
<b>FATIGA</b>	
<b>MEPDG EEUU</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
E (MPa)	2,758
$\epsilon_t$	4.47E-04
hac (in)	2.1654
k1 abajo a arriba	1970.635
Nf abajo hacia arriba	3,293,233.82
Va (%)	4
Vb (%)	5.86
C	0.3442795
k1 arriba hacia abajo	92.29
Nf arriba hacia abajo	154,234.43

*Figura B.9. Parámetros para modelación de desempeño*

### Deterioros

Agrietamiento de abajo hacia arriba (%)	Agrietamiento de arriba hacia abajo (ft/mile)	Capa	Deformación permanente total (mm)
78.40	2469.29	Carpeta asfáltica	0.46
		Base Granular 1	4.68
		Base Granular 2	0
		Subbase 1	0.00
		Subbase 2	0.00
		Subrasante	0.37
		Deformación permanente total	5.50

*Figura B.10. Resumen de resultados*

## Cumplimiento de criterios de aceptación

Cumplimiento de criterios de aceptación área agrietada	Cumplimiento de criterios de aceptación agrietamiento longitudinal	Cumplimiento de criterios de aceptación deformación permanente
FALLA A FATIGA	FALLA A FATIGA	CUMPLE

**Figura B.11. Cumplimiento de criterios**

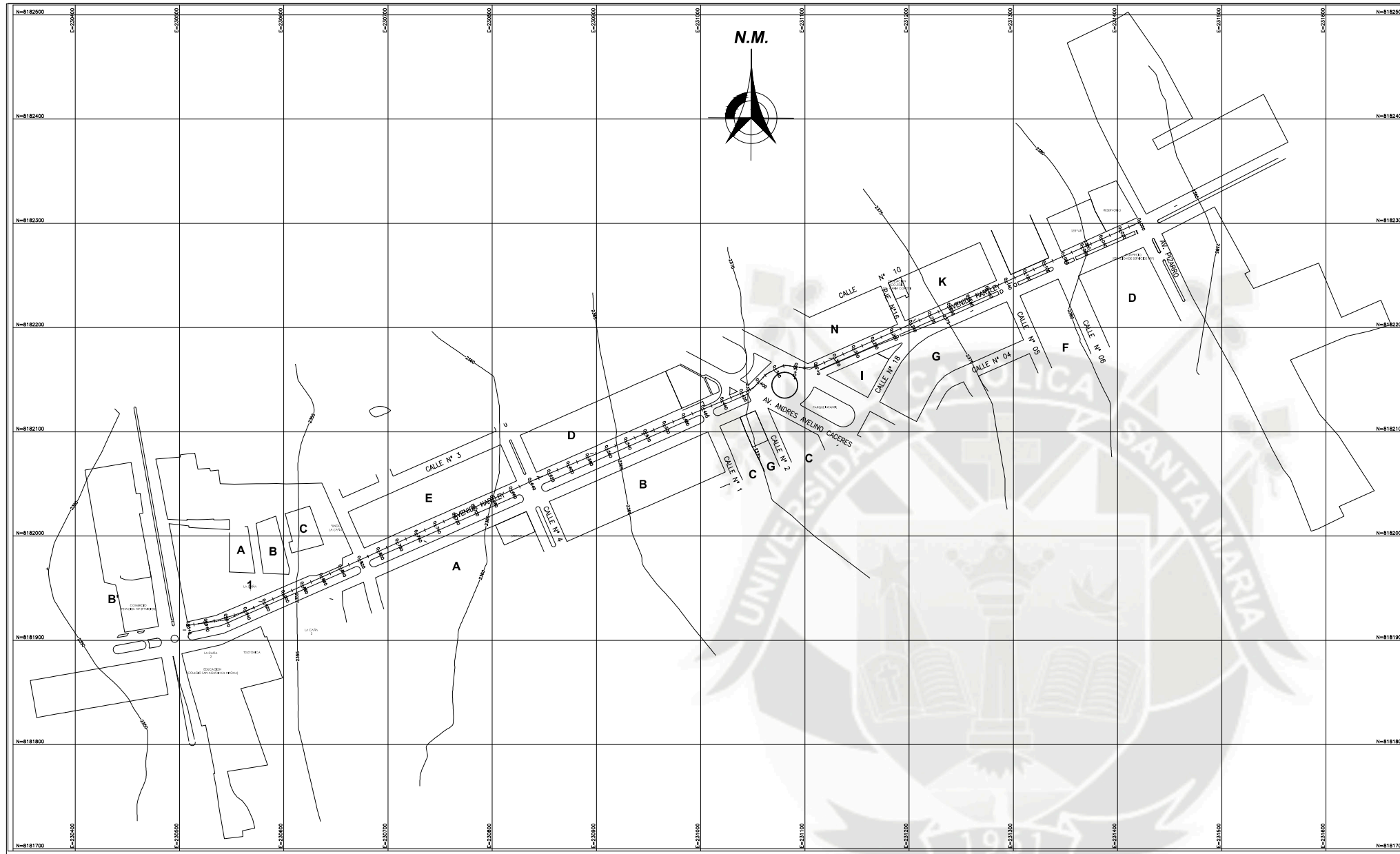
Año	ESAL acumulado por año	ESAL por año	Estación	Tráfico	Daño Rel. Abajo hacia arriba	Trafico Ac.	Daño Acu. Abajo hacia arriba	%FC	FC (ft/mile)	ESAL	%AF Limite	Daño Rel. Arriba hacia abajo	Daño Acu. Arriba hacia abajo
1	496,550	496,550	Seca 1	331,033.34	10.052%	331,033	0.1005	2.02	30.66	7,064,788	20.00	2.15	2.15
			Lluviosa 1	165,516.67	5.026%	496,550	0.15	3.94	56.64	7,064,788	20.00	1.07	3.22
2	1,030,937	534,387	Seca 2	356,258.08	10.818%	852,808	0.26	9.27	127.99	7,064,788	20.00	2.31	5.53
			Lluviosa 2	178,129.04	5.409%	1,030,937	0.31	12.33	170.08	7,064,788	20.00	1.15	6.68
3	1,606,045	575,107	Seca 3	383,404.94	11.642%	1,414,342	0.43	19.35	272.33	7,064,788	20.00	2.49	9.17
			Lluviosa 3	191,702.47	5.821%	1,606,045	0.49	22.92	328.57	7,064,788	20.00	1.24	10.41
4	2,224,975	618,931	Seca 4	412,620.40	12.529%	2,018,665	0.61	30.44	459.19	7,064,788	20.00	2.68	13.09
			Lluviosa 4	206,310.20	6.265%	2,224,975	0.68	34.03	528.72	7,064,788	20.00	1.34	14.43
5	2,891,068	666,093	Seca 5	444,062.08	13.484%	2,669,037	0.81	41.22	686.25	7,064,788	20.00	2.88	17.31
			Lluviosa 5	222,031.04	6.742%	2,891,068	0.88	44.52	768.43	7,064,788	20.00	1.44	18.74
6	3,607,918	716,849	Seca 6	477,899.61	14.512%	3,368,968	1.02	50.96	951.47	7,064,788	20.00	3.10	21.84
			Lluviosa 6	238,949.80	7.256%	3,607,918	1.10	53.85	1045.58	7,064,788	20.00	1.55	23.39
7	4,379,391	771,473	Seca 7	514,315.56	15.617%	4,122,233	1.25	59.37	1252.51	7,064,788	20.00	3.33	26.73
			Lluviosa 7	257,157.78	7.809%	4,379,391	1.33	61.81	1357.67	7,064,788	20.00	1.67	28.39
8	5,209,651	830,260	Seca 8	553,506.40	16.807%	4,932,897	1.50	66.43	1586.46	7,064,788	20.00	3.59	31.98
			Lluviosa 8	276,753.20	8.404%	5,209,651	1.58	68.45	1701.59	7,064,788	20.00	1.79	33.78
9	6,103,176	893,525	Seca 9	595,683.59	18.088%	5,805,334	1.76	72.26	1949.77	7,064,788	20.00	3.86	37.64
			Lluviosa 9	297,841.79	9.044%	6,103,176	1.85	73.92	2073.58	7,064,788	20.00	1.93	39.57
10	7,064,788	961,612	Seca 10	641,074.68	19.466%	6,744,251	2.05	77.04	2338.27	7,064,788	20.00	4.16	43.73
			Lluviosa 10	320,537.34	9.733%	7,064,788	2.15	<b>78.40</b>	<b>2469.29</b>	7,064,788	20.00	2.08	45.81

**Figura B.12. Datos de salida – Hoja de cálculo desempeño por fatiga**

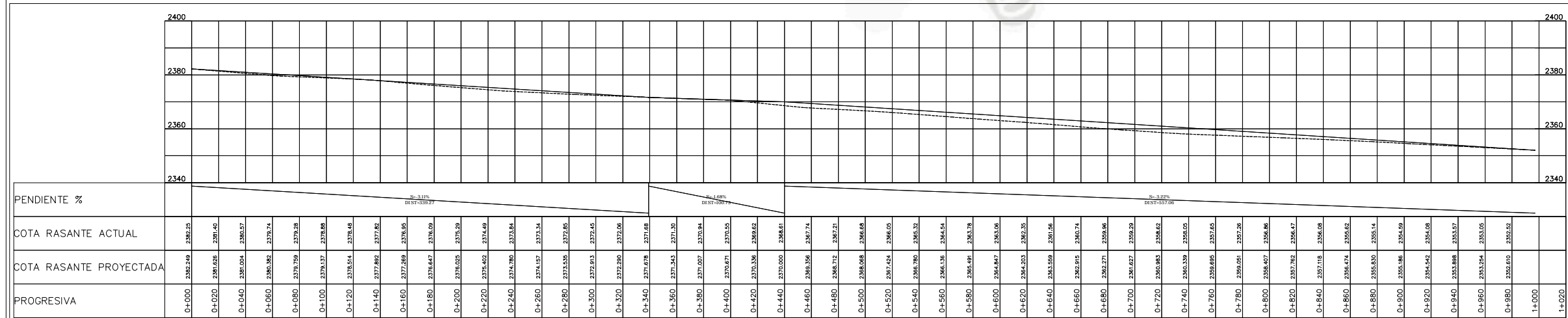


**PLANOS**





PLANO TOPOGRAFICO  
ESCALA 1/5000



PERFIL LONGITUDINAL  
ESCALA VERTICAL: 1/500  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE  
SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E  
INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
CIVIL

PROYECTO:

“EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA  
OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y  
DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS  
POR EL MÉTODO AASHTO 2008 EN LA  
AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE  
LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA”

PLANO:

TOPOGRAFICO  
PERFIL LONGITUDINAL

PROYECTISTA:

Bach. Harold Celedonio Meza Palomino

FECHA:

JUNIO-2017

ESCALA:

INDICADA EN PLANO

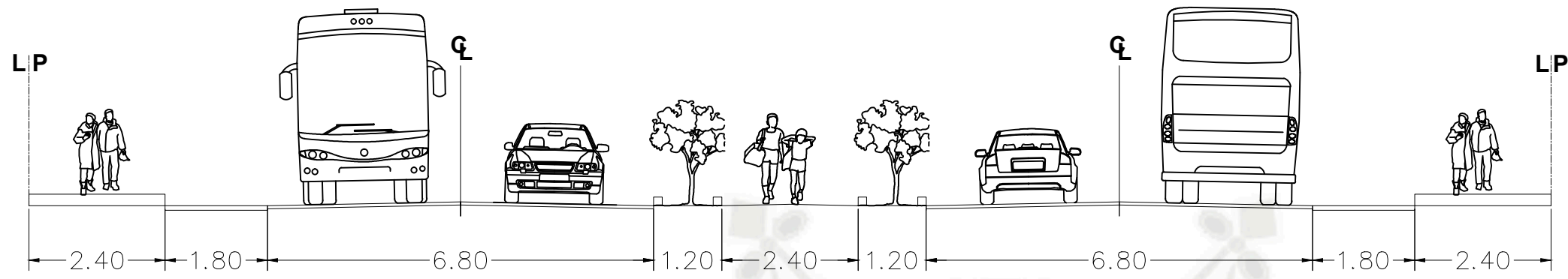
DIBUJO:

H.C.M.P

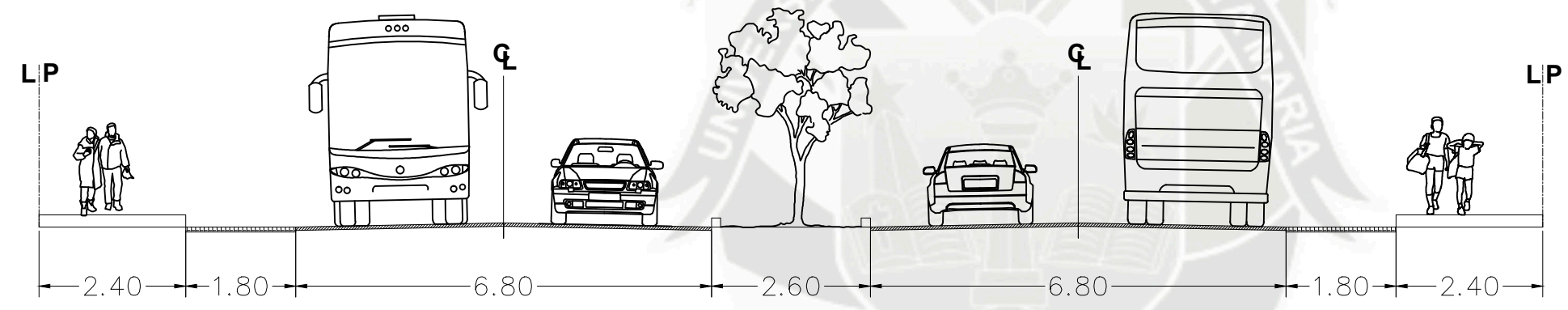
REVISION:

LAMINA:

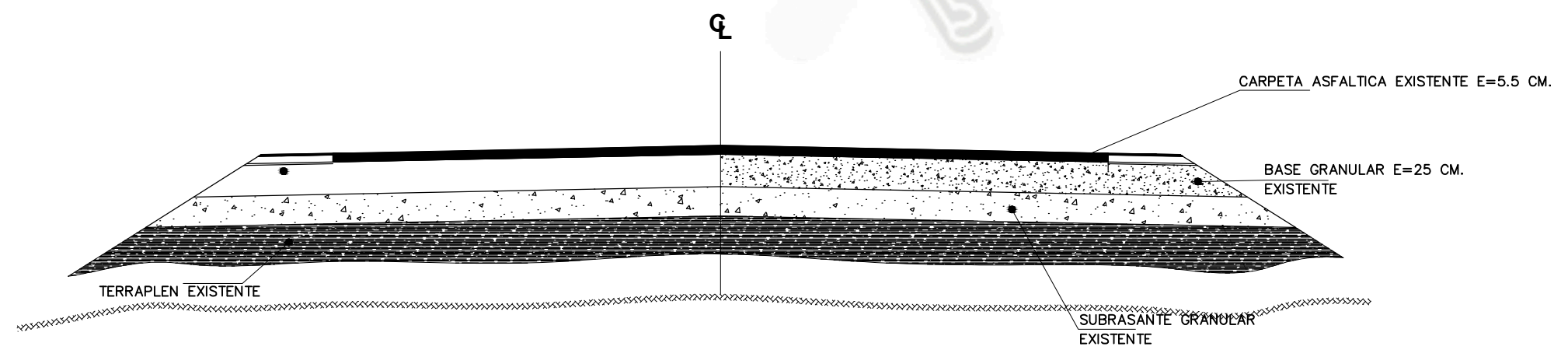
01



SECCIÓN TÍPICA 1-1  
ESCALA 1/100



SECCIÓN TÍPICA 2-2  
ESCALA 1/100



ESTRUCTURA PAVIMENTO EXISTENTE  
ESCALA 1/50



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE  
SANTA MARÍA**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E  
INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
CIVIL

PROYECTO:  
"EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA  
OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y  
DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS  
POR EL MÉTODO AASHTO 2008 EN LA  
AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE  
LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA"

PLANO:  
SECCIÓN TÍPICA Y ESTRUCTURA DEL  
PAVIMENTO EXISTENTE

PROYECTISTA:  
Bach. Harold Celedonio Meza Palomino

FECHA:  
JUNIO-2017

ESCALA:  
INDICADA EN PLANO

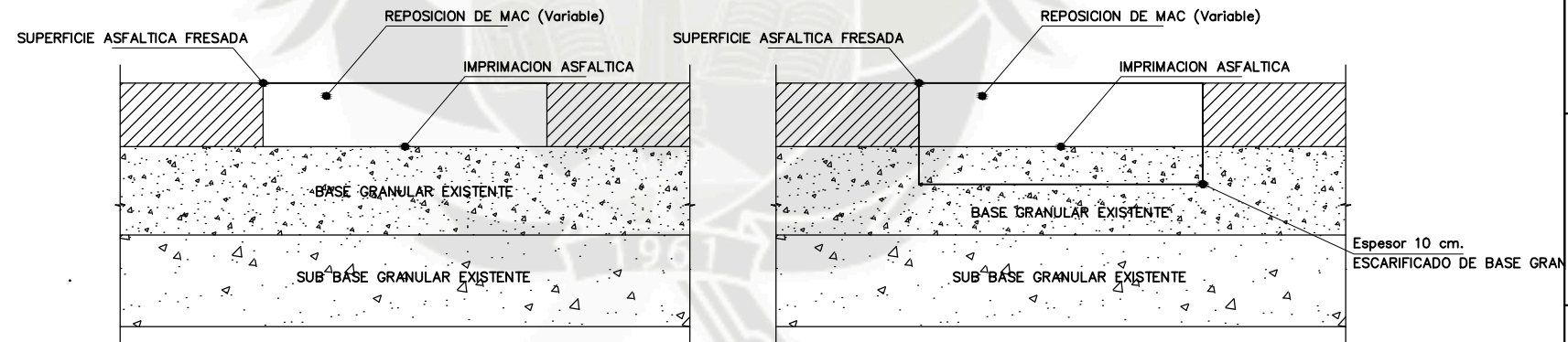
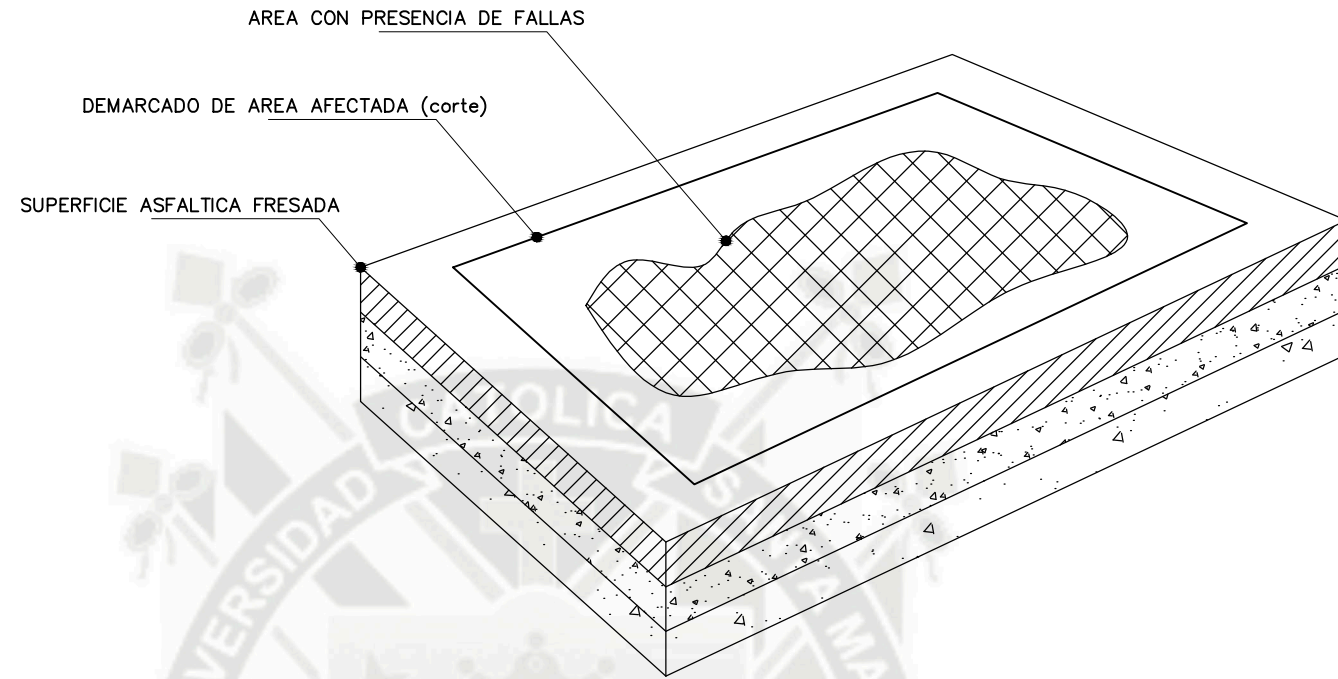
DIBUJO:  
H.C.M.P

REVISION:

LAMINA:

Actividades	Tratamiento
<b>PIEL DE COCODRILO</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial del fresado y con la colocación posterior del riego de liga.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Profundo (*)
<b>EXUDACION</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>AGRIETAMIENTO EN BLOQUE</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial del fresado y con la colocación posterior del riego de liga.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>CORRUGACIONES</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>DEPRESION</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>FISURAS DE BORDE</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial del fresado y con la colocación posterior del riego de liga.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
<b>DESNIVEL CARRIL BERMA</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad. Deficiencia que se corregirá con el tratamiento de Bermas.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial del fresado y con la colocación posterior del riego de liga.
Deterioro Moderado	Limpieza y Sellado de fisuras con emulsión.
Deterioro Severo	Limpieza, sellado de fisuras con emulsión y arenado.

Actividades	Tratamiento
<b>PARCHES</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Profundo (*)
<b>AGREGADO PULIDO</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial del fresado.
<b>BACHES</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>AHUELLAMIENTOS</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)
<b>GRIETAS PARABOLICAS</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
<b>DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS</b>	
Deterioro Leve	No se realizará ninguna actividad, deterioro que se elimina durante la etapa inicial de fresado.
Deterioro Moderado	Parchado Superficial (*)
Deterioro Severo	Parchado Superficial (*)



- ① Fresado y Eliminación de Carpeta Asfáltica en Caliente espesor variable.
- ② Corte y Eliminación de Carpeta Asfáltica Existente (e= variable).
- ③ Compactación Manual de la Base Granular Existente.
- ④ Imprimitación Asfáltica con Asfalto Diluido MC-30.
- ⑤ Reposición de Carpeta Asfáltica con MAC (e= variable)

- ① Fresado y Eliminación de Carpeta Asfáltica en Caliente espesor variable.
- ② Corte y Eliminación de Carpeta Asfáltica Existente (e= variable).
- ③ Escarificado de Base Granular Existente e= 10 cm. y adición de Material Base Granular en un e= 5 cm.
- ④ Compactación Manual de la Base Granular Reconformada.
- ⑤ Imprimitación Asfáltica con Asfalto Diluido MC-30.
- ⑥ Reposición de Carpeta Asfáltica con MAC (e= variable)



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO:

**“EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA OBTENIDA CON LA VIGA BENKELMAN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO AASHTO 2008 EN LA AVENIDA HARTLEY DEL DISTRITO DE JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO - AREQUIPA”**

PLANO:

SECCIONAMIENTO ALTERNATIVAS DE SOLUCION ADOPTADAS

PROYECTISTA:

Bach. Harold Celedonio Meza Palomino

FECHA:

JUNIO-2017

ESCALA:

INDICADA EN PLANO

DIBUJO:

H.C.M.P

REVISION:

LAMINA:

**03**