



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“DETERIORO ESTRUCTURAL DE LA AV.
CORONEL PARRA CAUSADO POR LA VARIACIÓN
DEL TRÁFICO Y DETERMINACIÓN DEL REFUERZO
PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DEL
PAVIMENTO”**

PRESENTADA POR EL BACHILLER
RODWEL DAVID YCHPAS AVILA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ
DICIEMBRE, 2016

Dedicatoria:

A todos aquellos que de buena voluntad apoyaron ya sea directa e indirectamente al desarrollo del presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO:

Debo agradecer a Dios por haberme guiado y permitido terminar mi carrera, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi asesor por la paciencia y orientación recibida, a mis hermanos por todo su apoyo y a todos aquellos que de una u otra forma hicieron posible la presente tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, pretende determinar un tipo de refuerzo (recapeo) a la Vía en estudio con la finalidad de que este proyecto cumpla su tiempo de vida proyectado y más aún prolongarla de manera que se beneficie la población aledaña a esta vía, para ello fue necesario contar con el volumen de tráfico actual y conocer el deterioro estructural del pavimento de la vía que se puede medir en términos de número estructural.

Se usó la metodología del retrocálculo en base al ensayo no destructivo (ensayo de deflectometría) que se realizó con la viga Benkelman, los datos obtenidos nos dieron a conocer que el pavimento se deteriora con una mayor rapidez a lo proyectado esto debido a diversos factores entre ellos el tráfico variado existente en la zona de estudio, para contrarrestar estos efectos se propone la construcción de un recapeo que prolongaría la vida útil del pavimento.

SUMMARY

The present research work, wants to determine a kind of reinforcement (re-dodge) to the Road under consideration that this project fulfills his planned time to live with the aim of and furthermore to extend it so that the bordering population to this road benefits, for it it was necessary to count on the present-day traffic volume and to know the structural deterioration of the pavement of the road that he can try on in terms of structural number.

He used him the methodology of the retro-calculation on the basis of the nondestructive essay (essay of deflectometria) that came true with the beam Benkelman, the obtained data gave us to know that the pavement deteriorates with a bigger speed to what's planned this due to various factors among themselves the varied existing traffic in the survey area, to offset these effects sets himself the construction of a re-dodge that would extend useful pavemental life.

SINTESIS

Las vías actuales pavimentadas en el Perú difícilmente cumplen su periodo de vida sin ninguna rehabilitación o ningún percance esto se debe a diversos factores entre ellos podemos mencionar la mala valoración de la subrasante, proyectar de manera fallida el tránsito y uso de materiales inadecuados entre otros. La presente investigación se propone adelantarse al surgimiento de las fallas haciendo uso del análisis del deterioro estructural mediante ensayos no destructivos determinando así la capacidad estructural actual o número estructural efectivo.

Se pretende analizar y proponer un diseño de refuerzo en base al tráfico estudiado y a las condiciones propias de la estructura del pavimento tales como módulo resiliente de la subrasante, espesores de las principales capas tales como base sub base etc.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	1
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	2
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. ESPACIAL.....	3
1.2.2. TEMPORAL	3
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. PROBLEMA GENERAL	3
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	4
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS	5
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE	5
1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	5
1.6.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	6
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.7.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	7
1.7.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	7
1.7.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	7

1.8.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.8.1.	POBLACIÓN.....	8
1.8.2.	MUESTRA.....	8
1.9.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	9
1.9.1.	TÉCNICAS	9
1.9.2.	INSTRUMENTOS	9
1.10.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.10.1.	JUSTIFICACIÓN	9
1.10.2.	IMPORTANCIA.....	10
	MARCO TEÓRICO	11
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.2.	BASES TEÓRICAS	14
2.2.1.	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	14
2.2.2.	ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	24
2.2.3.	CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO.....	37
2.2.4.	ESTIMACION DEL ESAL.....	53
2.2.5.	DISEÑO ESTRUCTURAL Y RECAPEOS ASSHTO 93	57
2.2.6.	DISEÑO DE RECAPEOS ASSHTO 93	65
2.2.7.	EVALUACION ESTRUCTURAL BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES	74
2.2.8.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO CON VIGA BENKELMAN	87
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	97
	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	98
3.1.	CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	98
3.2.	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES	99
3.2.1.	ESTUDIO DE TRAFICO.....	99
3.2.2.	METODOLOGÍA DEL CONTEO.....	101
3.2.3.	INDICE MEDIO DIARIO SEGÚN CLASE VEHICULAR.....	103

3.2.4.	VARIACION HORARIA Y DIARIA.....	105
3.2.5.	COMPOSICIÓN VEHICULAR	106
3.2.6.	FACTORES DESTRUCTIVOS	111
3.2.7.	CALCULO DE NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	112
3.2.8.	EVALUACION ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA	114
3.2.9.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	116
3.2.10.	MEDICION DE DEFLEXIONES.....	123
3.2.11.	CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES	130
3.2.12.	TIEMPO DE VIDA ESTIMADO DEL PAVIMENTO CON REFUERZO (RECAPEO)	154
3.2.13.	CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y DEFICIENCIA ESTRUCTURAL.....	155
3.2.14.	ECUACIÓN AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	156
3.2.14.	PARA CALCULAR SNF SE UTILIZA LA ECUACIÓN DE DISEÑO DE LA AASTHO....	162
3.3.	PRUEBAS DE NORMALIDAD	164
	PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS	169
4.1.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	169
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	170
	CONCLUSIONES:	170
	RECOMENDACIONES	172
	FUENTES DE INFORMACION	173
	REFERENCIAS	173
	ANEXOS.....	174

LISTA DE FIGURAS:

<i>FIGURA 1. ENSAYOS PARA LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO</i>	<i>25</i>
<i>FIGURA 2. ENSAYOS PARA MODELAR EL EFECTO DE LAS CARGAS EN EL PAVIMENTO</i>	<i>26</i>
<i>FIGURA 3. ESFUERZO MÁXIMO VERTICAL EN EL EJE VERTICAL</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 4. ESFUERZOS VERTICALES EN MEDIO DE 02 CAPAS.....</i>	<i>32</i>
<i>FIGURA 5. DEFLEXIONES VERTICALES EN LA SUPERFICIE PARA SISTEMAS DE 02 CAPAS (BURMISTER 1943)....</i>	<i>33</i>
<i>FIGURA 6. SISTEMA ELÁSTICO DE MÚLTIPLES CAPAS EN COORDENADAS CILÍNDRICAS.....</i>	<i>36</i>
<i>FIGURA 7. EJE SENCILLO</i>	<i>37</i>
<i>FIGURA 8. EJE TÁNDEM.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURA 9. EJE TRIDEM.....</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 10. PESO SEGÚN EL TIPO DE EJE</i>	<i>45</i>
<i>FIGURA 11. EJE ESTÁNDAR DE 18000 LB.....</i>	<i>53</i>
<i>FIGURA 12. REPRESENTACIÓN GRAFICA DEL CONCEPTO DE PERIODO DE ANÁLISIS Y PERIODO DE DESEMPEÑO</i>	<i>59</i>
<i>FIGURA 13. PÉRDIDA DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL DESPUÉS DE N APLICACIONES DE CARGA</i>	<i>67</i>
<i>FIGURA 14. CAPACIDAD ESTRUCTURAL EFECTIVA.....</i>	<i>68</i>
<i>FIGURA 15. GRAFICO PARA PODER DETERMINAR EP PARA A = 5.9 INCHES.....</i>	<i>71</i>
<i>FIGURA 16. NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL FACTOR DE REAJUSTE EN BASES GRANULARES O TRATADAS CON ASFALTO</i>	<i>72</i>
<i>FIGURA 17. NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL FACTOR DE REAJUSTE POR TEMPERATURA PARA BASES TRATADAS CON CEMENTO O PUZOLANICOS</i>	<i>73</i>
<i>FIGURA 18. GEOMETRÍA DEL MODELO DE HOGG.....</i>	<i>77</i>

<i>FIGURA 19. CURVAS DE DEFLEXIONES EN EL MODELO DE HOGG PARA LA CONFIGURACIÓN DE CARGA DE LA VIGA BENKELMAN</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 20. NOMOGRAMA PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL BASADO EN EL MODELO DE HOGG.....</i>	<i>81</i>
<i>FIGURA 21. ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN VIGA BENKELMAN.....</i>	<i>85</i>
<i>FIGURA 22. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON LA VIGA BENKELMAN.</i>	<i>88</i>
<i>FIGURA 23. HOJA DE CAMPO PARA RECONEXIÓN DE DEFLEXIONES</i>	<i>90</i>
<i>FIGURA 24. CURVAS DE DEFLEXIONES TÍPICAS DE ENSAYOS CON LA VIGA BENKELMAN</i>	<i>92</i>
<i>FIGURA 25. SIGNIFICADO CUALITATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CURVAS DE DEFLEXIONES</i>	<i>96</i>
<i>FIGURA 26. LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTEO</i>	<i>100</i>
<i>FIGURA 27. VARIACIÓN DIARIA VEHICULAR POR DÍAS</i>	<i>105</i>
<i>FIGURA 28. VARIACIÓN HORARIA DEL PROMEDIO VEHICULAR.....</i>	<i>106</i>
<i>FIGURA 29. CLASIFICACIÓN VEHICULAR POR TIPO DE VEHÍCULO.....</i>	<i>107</i>
<i>FIGURA 30. CANTIDAD DE VEHÍCULOS ACUMULADO</i>	<i>110</i>
<i>FIGURA 31. PUNTOS DEL ENSAYO DEFLECTOMÉTRICO.....</i>	<i>125</i>
<i>FIGURA 32. TOMA DE LECTURAS DE DEFLEXIÓN DESCRIPCIÓN GRAFICA.....</i>	<i>127</i>
<i>FIGURA 33. NOMOGRAMA PARA HALLAR EL FACTOR DE AJUSTE POR TEMPERATURA.</i>	<i>157</i>
<i>FIGURA 34. VARIACIÓN DEL SNEFF A LO LARGO DE LAS PROGRESIVAS.....</i>	<i>159</i>
<i>FIGURA 35. VARIACIÓN DEL SNEFF A LO LARGO DE LAS PROGRESIVAS.....</i>	<i>160</i>
<i>FIGURA 36. VARIACIÓN DEL SNEFF A LO LARGO DE LAS PROGRESIVAS AMBOS LADOS</i>	<i>161</i>
<i>FIGURA 37. TIEMPO DE VIDA PROYECTADO DEL PAVIMENTO CON REFUERZO (RECAPEO).....</i>	<i>163</i>

LISTA DE TABLAS:

TABLA 1. TOLERANCIA DEL PESO PERMITIDO POR EJE	45
TABLA 2. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA	47
TABLA 3. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA	48
TABLA 4. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA	49
TABLA 5. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA	50
TABLA 6. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA	55
TABLA 7. RELACIONES SIMPLIFICAS DE CARGA PARA DETERMINAR EJES EQUIVALENTES	56
TABLA 8. PERIODOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS EN LA AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993.....	59
TABLA 9. PERIODOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	61
TABLA 10. PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG	78
TABLA 11. TABLA DE LA ESTACIÓN DE CONTEO	102
TABLA 12. VOLUMEN VEHICULAR CLASIFICADO.....	104
TABLA 13. COMPOSICIÓN VEHICULAR TOTAL	107
TABLA 14. RESUMEN TOTAL DEL VOLUMEN VEHICULAR POR VARIACIÓN HORARIA.....	108
TABLA 15. CUADRO IMDA Y FACTORES DESTRUCTIVOS.....	112
TABLA 16. RESULTADOS DE ESAL PROYECTADOS A 10 Y 15 AÑOS	113
TABLA 17. LECTURAS DE DEFLEXIÓN DE LA VIGA BENKELMAN	131
TABLA 18. RADIO DE CURVATURA Y DEFLEXIONES EN MILÍMETROS	132
TABLA 19. TIPOS DE SOBRECARPETA PARA PAVIMENTO EXISTENTE.....	155
TABLA 20. NÚMEROS ESTRUCTURALES EFECTIVOS DEL LADO DERECHO DE LA VÍA.....	159
TABLA 21. NÚMEROS ESTRUCTURALES EFECTIVOS DEL LADO IZQUIERDO DE LA VÍA.....	160

LISTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS:

<i>RESULTADO DE ENSAYO 1. CURVA DE DEFLEXIÓN 01</i>	133
<i>RESULTADO DE ENSAYO 2. CURVA DE DEFLEXIÓN 02</i>	134
<i>RESULTADO DE ENSAYO 3. CURVA DE DEFLEXIÓN 03</i>	135
<i>RESULTADO DE ENSAYO 4. CURVA DE DEFLEXIÓN 04</i>	136
<i>RESULTADO DE ENSAYO 5. CURVA DE DEFLEXIÓN 05</i>	137
<i>RESULTADO DE ENSAYO 6. CURVA DE DEFLEXIÓN 06</i>	138
<i>RESULTADO DE ENSAYO 7. CURVA DE DEFLEXIÓN 08</i>	139
<i>RESULTADO DE ENSAYO 8. CURVA DE DEFLEXIÓN 08</i>	140
<i>RESULTADO DE ENSAYO 9. CURVA DE DEFLEXIÓN 09</i>	141
<i>RESULTADO DE ENSAYO 10. CURVA DE DEFLEXIÓN 10</i>	142
<i>RESULTADO DE ENSAYO 11. CURVA DE DEFLEXIÓN 11</i>	143
<i>RESULTADO DE ENSAYO 12. CURVA DE DEFLEXIÓN 12</i>	144
<i>RESULTADO DE ENSAYO 13. CURVA DE DEFLEXIÓN 13</i>	145
<i>RESULTADO DE ENSAYO 14. CURVA DE DEFLEXIÓN 15</i>	146
<i>RESULTADO DE ENSAYO 15. CURVA DE DEFLEXIÓN 15</i>	147
<i>RESULTADO DE ENSAYO 16. CURVA DE DEFLEXIÓN 16</i>	148
<i>RESULTADO DE ENSAYO 17. CURVA DE DEFLEXIÓN 17</i>	149
<i>RESULTADO DE ENSAYO 18. CURVA DE DEFLEXIÓN 19</i>	150
<i>RESULTADO DE ENSAYO 19. CURVA DE DEFLEXIÓN 19</i>	151
<i>RESULTADO DE ENSAYO 20. CURVA DE DEFLEXION 20</i>	152
<i>RESULTADO DE ENSAYO 21. CURVA DE DEFLEXIÓN 21</i>	153

INTRODUCCION

Los surgimientos de fallas prematuramente en los Pavimentos del Perú evidencian que la vida útil avizorada por el proyectista, en la mayoría de los casos no se cumple debido esto a diversos motivos ya sea por un mal estudio, la deficiente ejecución de la obra, falta de evaluación y descuido por parte de los interesados, una evaluación estructural nos permite saber en qué estado se encuentra la vía, determina de manera practica el deterioro de su capacidad estructural y anticipa posibles fallas.

En el presente trabajo de investigación, contempla su estudio en la A.V CORONEL PARRA ubicada en el distrito de Pilcomayo, los trabajos de construcción de la vía se realizaron en junio del 2014 terminando a comienzos del 2015, el volumen de tránsito vehicular ha venido en aumento debido al crecimiento poblacional y económico así también es considerable el volumen de tránsito de vehículos pesados ya que estos generan un mayor factor de daño a la capacidad estructural del pavimento, dadas las características y condiciones desfavorables actuales se prevé una mayor pérdida de capacidad estructural como consecuencia de ello se producirán las primeras fallas en el mediano plazo, usando la metodología de AASHTO 93 se pretende evaluar el estado actual en el que se encuentra la vía y en base a ello proponer un refuerzo para no solo cumplir la vida útil proyectada más aun incrementarla para el beneficio de todos los usuarios.

El presente trabajo consta de cinco capítulos desarrollando en el primero la parte de la realidad problemática y metodológica desde el tipo de investigación hasta la cobertura del estudio, el segundo capítulo abarca los antecedentes de la investigación y el marco teórico.

El tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos y el análisis cuantitativo de las variables, El cuarto capítulo se realiza el proceso de contraste de hipótesis y por último el quinto capítulo en el que se presentan las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Descripción del proyecto evaluado

La ruta que comprende la carretera Cañete – Lunahuana – Chupaca; Tramo Pilcomayo - Chupaca, se encuentra ubicada en el departamento de Junín provincia de Huancayo se ubica a una altura de 3249 m.s.n.m.

El clima varía de acuerdo con la altitud. En los valles interandinos (mayoritariamente en las provincias de Junín, Yuli, Tarma, Jauja, Concepción Chupaca y Huancayo), el clima es templado y frío con poca presencia de humedad (seco).

La mayoría de las carreteras mantenidas y rehabilitadas en las últimas décadas, se han deteriorado prematuramente disminuyendo la condición y la serviciabilidad del pavimento, demandando trabajos correctivos y complementarios antes de lo previsto.

La recolección de información y la experiencia ha demostrado que los resultados obtenidos no siempre son congruentes con los objetivos del proyectista ni tampoco llegan a cumplir la vida útil para la cual fue diseñada. Las causas están referidas a tráfico proyectado de forma inadecuada, deficiente elaboración del diseño estructural, mala valoración de la subrasante, condiciones ambientales no consideradas, entre otras.

Todo lo anterior lleva a la necesidad de profundizar y conocer con mayor detalle los aspectos que generan la reducción de la vida útil del pavimento, haciendo hincapié en el deterioro estructural producto de diversos factores.

A partir de ello determinar un tipo de refuerzo el cual permita al pavimento alcanzar su periodo para el cual fue diseñado y prolongando el mismo.

El alcance del presente trabajo abarca el análisis del deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA - HUANCAYO propone una alternativa racional de refuerzo en base al estudio e interpretación de los datos obtenidos, basados en la metodología AASHTO (1993) empleada actualmente en el Perú.

1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. ESPACIAL

El presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de la vía en mención y los resultados son útiles solo para este proyecto, sin embargo, la metodología puede aplicarse para cualquier proyecto.

1.2.2. TEMPORAL

El planteamiento en general es factible en el periodo de análisis de un proyecto, este varia y no siempre es el mismo que el tiempo de vida del proyecto (10 -15 años) en muchos casos llega a ser mayor.

1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Cuál es el grado de influencia de la variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?
- b) ¿Cuál es la relación entre el deterioro estructural y la variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Evaluar la variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.
- b) Evaluar el deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

La relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 influye para determinar el refuerzo.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- a) El grado de asociación entre la variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 es significativa para determinar el refuerzo.

- b) La relación entre el deterioro estructural y la variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 influye en el refuerzo.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

-) Y_1 = Espesor del refuerzo de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000

1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

-) X_1 = Variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000

-) X_2 = Deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000

1.6.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<p>Variable Independiente</p> <p>Variación del tráfico de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000</p>	<ul style="list-style-type: none">) IMDA, índice medio diario anual) Factores de destrucción por eje <ul style="list-style-type: none">) Tasa de crecimiento) Dd, factor de dirección) Di, factor de distribución de carril 	Estudio de tráfico	<ul style="list-style-type: none">) ESAL Actual) ESAL Proyectado
<p>Variable Independiente</p> <p>Deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000</p>	<ul style="list-style-type: none">) d_0, deflexión máxima en el centro de cargas) MR, módulo resiliente de la subrasante) Espesores de las capas del Pavimento 	Ensayos de deflectometría	<ul style="list-style-type: none">) Numero Estructural S_{Neff}
<p>Variable Dependiente</p> <p>Espesor del refuerzo de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000</p>	<ul style="list-style-type: none">) Numero estructural efectivo) ESALs de diseño) Coeficiente de capa del recapeo 	Diseño de recapeo	<ul style="list-style-type: none">) 2,3,4 in) 5.08,12.91,10.2 cm

1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Estudio correlacional¹

1.7.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Correlacional

1.7.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Por su método, la investigación puede ser deductiva (parte de lo general para realizar inferencias específicas), y también puede ser inductiva (de resultados específicos se infieren reglas generales).

El método a utilizar sería el inductivo.

1.7.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La estrategia se determina en función de la posibilidad de manipular una variable en torno al fenómeno en estudio.

En forma general, se plantean 2 casos:

Caso 1: Es posible manipular algunas de las variables.

Caso 2: No es posible manipular las variables.

Esta diferencia da lugar a dos tipos de diseños de investigación:

) Diseños no experimentales

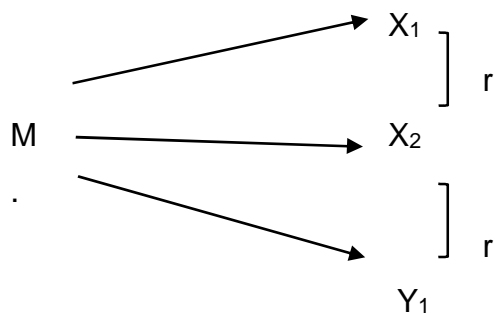
) Diseños experimentales

¹ Roberto Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación*.

La presente investigación se considera con un Diseño no experimental y el tipo es transversal correlacional causal.²

Es decir, la recolección de datos se realizará en un solo momento, en un tiempo único.

El propósito de la investigación será describir las variables y analizar su Incidencia e interrelación en un momento dado. Seguirá el siguiente esquema



1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. POBLACIÓN

Para la presente investigación la Población sería el pavimento de la A.V CORONEL PARRA KM 00+000 hasta KM 03+000.

1.8.2. MUESTRA

Desde el KM 01 +640 hasta KM 02 +640 de la A.V CORONEL PARRA.

² William Campos Lizaraburu, *Apuntes de Metodología de la investigación Científica*.

1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1. TÉCNICAS

Se requerirá un estudio de tránsito para determinar el ESAL actual basados en los formatos del MTC, ensayos no destructivos bajo la guía de diseños de recapeos ashto 93.

1.9.2. INSTRUMENTOS

-) Formato de conteo Vehicular del MTC, el formato a emplearse cuenta con la clasificación necesaria para para el estudio de tránsito vehicular además de incluir intervalos de tiempo para que el estudio sea lo más exacto posible y muestre el verdadero volumen vehicular actual.
-) Para la determinación de la deflexión se requerirá el uso de la viga benkelman.
-) Hojas de campo.

1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1. JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo de un proyecto vial una de las variables de más importancia probablemente sea el tránsito, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento³.

La metodología utilizada para la cuantificación del tránsito es la practicada por la AASHTO (1993) en la cual el análisis del tráfico tiene como objetivo determinar el número acumulado de repeticiones de carga de eje equivalente de 8.2

³ Alfonso Montejo Fonseca, *Ingeniería de pavimentos para carreteras*.

toneladas, sobre el tránsito actual, sus características y proyecciones para la vida útil del pavimento.

Las repeticiones del eje de carga equivalente (ESAL) nos brinda de manera numérica la incidencia de las cargas en el pavimento así también tomando en consideración la tasa de crecimiento promedio anual se puede estimar un ESAL a futuro determinando el tráfico para ese periodo de tiempo en base al análisis realizado.

La rehabilitación de una vía con múltiples fallas ocasiona mayores costos, lo ideal sería conocer la capacidad estructural actual de una vía, en base a ello determinar el tipo de rehabilitación que necesita y el refuerzo necesario para que el pavimento cumpla las solicitudes del tráfico y el tiempo de vida para la cual fue proyectado.

1.10.2. IMPORTANCIA

Tomando en cuenta las necesidades tanto económicas como sociales la importancia de una vía en buen estado es esencial para el desarrollo de la zona en la cual tiene influencia directa, es por ello que la evaluación del estado del pavimento tomando en consideración su capacidad estructural nos permite anticiparnos a posibles fallas y deficiencias no previstas por el proyectista, determinar el refuerzo requerido e implementarlo antes de que se generen las fallas, genera ahorro económico y posibles molestias futuras.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

LEONARDO FLORES GONZÁLEZ (2012) “EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO”

En el presente trabajo propone una metodología de diagnóstico del estado estructural del pavimento, basada en cálculo inverso o retro cálculo; el proceso comienza con la recolección de datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman se efectúan las mediciones deflectométricas, este tipo de ensayo corresponde a uno no destructivo; con los resultados obtenidos en campo se calcula el módulo de elasticidad del pavimento a través de un proceso de simulación numérica, las mediciones de campo sirven para la calibración del modelo numérico basado en formulaciones variaciones sin malla MM; para facilitar trabajos futuros de reparación o mantenimiento, se agrupan los datos con un proceso estadístico de discriminación de datos adaptado a carreteras de bajo volumen de tránsito, de manera que tramos de carretera con la misma deformación característica probablemente tengan el mismo procedimiento de reparación o mantenimiento.

KIMIKO KATHERINE HARUMI RENGIFO ARAKAKI (2014) “DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE LA NUEVA CARRETERA PANAMERICANA NORTE EN EL TRAMO DE HUACHO A PATIVILCA (KM 188 A 189)”

La nueva carretera Panamericana Norte se encuentra al norte de Lima. Actualmente el tramo de Ancón – Huacho – Pativilca se encuentra en concesión a Norvial S.A.

En esta tesis se realiza el diseño del pavimento de un kilómetro de esta carretera en el tramo de Huacho a Pativilca. Específicamente, según el temario del tema de tesis el kilómetro designado por el asesor fue del 188 al 189.

La carretera Huacho – Pativilca tiene 57 kilómetros de longitud y conecta las ciudades de Huacho, Huaura, Medio Mundo, Supe, Barranca y Pativilca. En general, la Panamericana Norte es una carretera interprovincial que conecta todos los departamentos de la Costa. El tramo de estudio de esta tesis une a las provincias de Barranca y Huaura. Cabe resaltar que entre las particularidades de la zona se incluye el tránsito de gran porcentaje de vehículos pesados. Además, presenta un clima templado y con pocas precipitaciones.

Se procede con el diseño del pavimento tanto flexible como rígido. Para el tipo flexible se utiliza la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la del Instituto del Asfalto (IA), mientras que para el rígido se utiliza también la de la AASHTO y la de la Portland Cement Association (PCA).

Por último, una vez obtenidos los diseños definitivos para los dos tipos de pavimento se procede a una comparación económica del costo inicial de construcción de esta estructura.

MARIO S. HOFFMAN, PH.D. (1985) ESTUDIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS)

Un aspecto gravitante en las metodologías de evaluación de pavimentos es el concerniente a los modelos teóricos usados para representar a la estructura real y su funcionamiento. De cuan adecuados sean éstos para reproducir, en forma satisfactoria, la compleja realidad de un pavimento y de la posibilidad de representarlos matemáticamente, a fin de implementar soluciones que brinden resultados de uso directo, depende el potencial de posibilidades prácticas que puede brindar una metodología.

Los intentos de representar, mediante modelos teóricos, sistemas de pavimentos flexibles datan de no hace más de 50 años, cuando Burmister desarrolla su teoría para modelos de capas elásticas basándose en los conceptos desarrollados por

Boussinesq en 1885. Desde entonces, y con el advenimiento y uso de las computadoras, un avance sustancial se ha producido en los últimos años, habiéndose desarrollado una variedad de alternativas que van desde esquemas de capas elásticas lineales y no lineales, hasta modelos viscoelásticos ó dinámicos, diseñados en un constante afán de lograr simulaciones cada vez más compatibles con la realidad.

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.

JOSÉ ÁNGEL HANSER LÓPEZ (2008) ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE PROYECTOS VIALES CON EL MODELO DE ESTANDARES DE CONSERVACIÓN Y DISEÑO DE CARRETERAS

Este estudio muestra como el Software Modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras (HDM, siglas en inglés), se relaciona de manera directa con la aplicación y manejo de un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP).

Mucha de la información fue extraída de estudios realizados en México, Perú, Chile y Colombia, además de manuales propios del HDM, los cuales en conjunto nos expresan la operación de un sistema de gestión de pavimentos y como el HDM es utilizado para facilitar el manejo de datos, para proporcionar estrategias de conservación y mejoramiento de un tramo o una red de carreteras, a partir de una evaluación económica.

El objetivo principal es dar a conocer el HDM, para empezar a crear una base de información respecto al tema, debido a que en Guatemala se conocen muy poco sobre gestión de pavimentos, por lo que se muestra como se aplica a un proyecto de carreteras para determinar la viabilidad de la inversión.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Pavimento flexible

Este tipo de pavimento se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas.

La teoría que se utiliza para analizar su comportamiento es la teoría de capas de Burmister⁴.

Las características fundamentales que debe cumplir un pavimento flexible son⁵:

- J) **Resistencia estructural:** El pavimento debe ser capaz de soportar las cargas debidas al tránsito de tal manera que el deterioro sea paulatino y que se cumpla el ciclo de vida definido en el proyecto.

La causa de falla en este tipo de pavimentos con mayor aceptación es los esfuerzos cortantes. Sin embargo, también se producen esfuerzos adicionales por la aceleración y frenado de los vehículos, así como esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura al deformarse esta verticalmente debido a la carga que soporta. Asimismo, el pavimento se encuentra sometido a cargas actuantes repetitivas. Éstas afectan a largo plazo la resistencia de las capas de relativa rigidez, que en los pavimentos flexibles serían sobre todo las carpetas y bases estabilizadas, donde podrían ocurrir fenómenos de fatiga.

Además, la repetición de cargas puede causar la rotura de los granos del material granular modificando la resistencia de estas capas.

- J) **Deformabilidad:** El nivel de deformación del pavimento se debe controlar debido a que es una de las principales causas de falla en la estructura y si la deformación es permanentemente, el pavimento deja de cumplir las funciones para las cuales fue construido. Se presentan dos clases de deformaciones en una vía: elásticas (recuperación instantánea) y plásticas (permanentes).

⁴ Huang, Y. (2004) *Pavement analysis and design (Segunda ed.)* New Jersey: Pearson Prentice Hall. Pág. 8.

⁵ Rico, A., Y Del Castillo, H. (1999) *La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Volumen 2.* México D.F.: Limusa. Pág. 102-106.

- J **Durabilidad:** Una carretera que tenga un ciclo de vida prolongado en condiciones aceptables no sólo evita la necesidad de construcción nueva, sino también la molestia de los usuarios de la vía al interrumpir el tránsito.

- J **Costo:** Se debe hallar un equilibrio entre el costo de construcción inicial y el mantenimiento al que tendrá que ser sometida la vía. Asimismo, influye la calidad y la disponibilidad de los materiales para la estructura.

- J **Requerimientos de la conservación:** Las condiciones de drenaje y Subdrenaje juegan un rol decisivo en el ciclo de vida del pavimento.

- J **Comodidad:** Una carretera tiene que resultar cómoda para los usuarios.

Las capas que generalmente componen la estructura de un pavimento flexible son las siguientes⁶:

- J **Carpeta asfáltica:** Es la capa superficial de la estructura. Tiene tres funciones principales: servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar en lo posible la percolación del agua al interior del pavimento y ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.

- J **Base:** Sirve como apoyo a la carpeta asfáltica y transmite los esfuerzos producidos por el tránsito a las capas inferiores en un nivel adecuado.

- J **Sub-base:** Principalmente cumple con una función económica ya que permite la utilización de materiales de menor calidad en un porcentaje del espesor del pavimento. Entonces, dependiendo de la calidad y el costo del

⁶ Montejo, A. (2006) *Ingeniería de pavimentos (Tercera ed.)* Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Pág. 4-5.

material disponible, se puede utilizar sólo base o sub-base y base. Con la construcción de la sub-base, puede ser que el espesor final de la capa sea mayor pero aun así resultar en un diseño más económico.

Además, puede servir como una capa de transición ya que actúa como un filtro que separa a la base de la subrasante impidiendo que los finos penetren en la primera y la dañen estructuralmente.

Esta capa ayuda a controlar los cambios volumétricos que podrían tomar lugar en la subrasante debido a cambios en su contenido de agua o a cambios de temperatura. De esta manera, las deformaciones serían absorbidas por la sub-base evitando que se reflejen en la carpeta asfáltica.

En cuanto a resistencia cumple la misma función que las capas superiores de transmitir los esfuerzos a la subrasante.

Por último, a través de esta capa se puede drenar el agua e impedir la ascensión capilar.

Además, en la fase de construcción se pueden utilizar ciertos tratamientos como: la capa de sellado que se coloca encima de la carpeta asfáltica para impermeabilizar la superficie, el riego de liga y la capa de imprimación que sirven para asegurar la adherencia entre asfalto antiguo y nuevo en el primer caso, y entre el material granular y la mezcla asfáltica que se colocará encima.

Desde que se comenzaron a construir pavimentos flexibles se han ido elaborando teorías y desarrollando mejoras para el diseño y el análisis de estas estructuras. Algunos de estos avances son mencionados por Huang⁷. Los métodos de diseño pueden ser clasificados dentro de cinco categorías y se detallan a continuación:

⁷ Huang, Y. (2004) *Pavement analysis and design (Segunda ed.)* New Jersey: Pearson Prentice Hall. Pág.1-5.

- J) **Métodos empíricos:** Se caracterizan, como su nombre lo indica, por estar basados en datos recolectados de campo. Justamente esta característica resulta una desventaja en sí misma ya que el método sólo puede ser utilizado bajo las condiciones ambientales, de los materiales y de carga de las muestras originales. Los resultados no pueden ser extrapolados directamente y haría falta desarrollar un nuevo método para corregir este inconveniente.

- J) **Métodos para limitar la falla por corte:** El objetivo de estos métodos es evitar que la falla por corte ocurra. Para esto se deben tener en cuenta principalmente las propiedades de cohesión y el ángulo interno de fricción del suelo de las diferentes capas del pavimento y de la subrasante. Este procedimiento ya no es tan popular debido a que con el incremento del volumen del tráfico y la mayor velocidad a la que llegan los vehículos se hace necesario brindar comodidad a los usuarios y no solo prevenir la falla por corte de los pavimentos.

- J) **Métodos para limitar las deformaciones:** Con estas técnicas se diseña el pavimento con un espesor que impida que se exceda el límite permisible de deflexiones verticales. La ventaja de utilizar deflexiones como criterio principal es que se pueden medir directamente en campo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que gran cantidad de pavimentos fallan por esfuerzos y tensiones mayores que los esperados y no por deflexiones.

- J) **Métodos de regresión basados en el desempeño de los pavimentos o en las pruebas de las carreteras:** Estos procedimientos se caracterizan por utilizar ecuaciones de regresión basadas en los resultados de pruebas de caminos existentes. No obstante, presenta la misma desventaja que el

método empírico en que dichas ecuaciones sólo corresponden a las condiciones del lugar en que se encontraba la vía.

) **Métodos mecanísticos-empíricos:** Estos métodos incorporan la mecánica de materiales y los datos obtenidos del rendimiento en campo de los pavimentos. Mediante estas metodologías se llega a relacionar las sollicitaciones a las que se ve sometida la estructura con la respuesta de la misma, por ejemplo, la carga de las llantas con los esfuerzos ocasionados. Utilizando este procedimiento se ha podido incrementar la confiabilidad del diseño y predecir el tipo de desgaste o deterioro que podría presentar el pavimento. Asimismo, al contrario de otros métodos antes mencionados, se puede extrapolar a partir de los datos de ciertas zonas o condiciones en que se llevan a cabo pruebas a otras circunstancias.

Pavimento rígido

El elemento estructural primordial en este tipo de pavimento consta de una losa de concreto que se apoya directamente en la subrasante o en una capa de material granular seleccionado denominada subbase. La necesidad de utilizar la subbase surge sólo si la subrasante no tiene las condiciones necesarias como para resistir a la losa y las cargas sobre esta; es decir, que no actúe como un soporte adecuado.

Una de las diferencias más saltantes entre los pavimentos flexibles y rígidos es la forma en que se distribuyen los esfuerzos producidos por el tránsito sobre ellos. Debido a que el concreto es mucho más rígido que la mezcla de asfalto, éste distribuye los esfuerzos en una zona mucho más amplia. Del mismo modo, el concreto presenta un poco de resistencia a la tensión por lo que aún en zonas débiles de la subrasante su comportamiento es adecuado. Es por ello que la

capacidad portante de un pavimento rígido recae en las losas en vez de en las capas subyacentes, las cuales ejercen poca influencia al momento del diseño⁸.

Otra diferencia importante es la existencia de juntas en los pavimentos rígidos, las que no se presentan en los flexibles. Es así como la teoría de análisis que se utiliza para la primera clase de pavimento es la teoría de placa o plancha en lugar de la teoría de capas utilizada para los caminos asfaltados⁹.

La resistencia del concreto utilizada usualmente es alta, entre 200 y 400 kg/cm². Por su parte las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o preesforzado.

Otro autor clasifica los pavimentos rígidos de la siguiente manera¹⁰:

- J Pavimento articulado de concreto simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP): es la solución más económica con juntas espaciadas de manera cercana.

- J Pavimento articulado de concreto reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP): si bien el refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura, si permite espaciar las juntas un poco más. Asimismo, análogamente a otra estructura de concreto reforzado como una viga, el acero puede mantener el concreto unido en caso se produzca una grieta o rotura.

- J Pavimento continuo de concreto reforzado o Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP): con esta clase se pueden eliminar las juntas

⁸ Montejo, A. (2006) *Ingeniería de pavimentos (Tercera ed.)* Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Pág.5

⁹ Huang, Y. (2004) *Pavement analysis and design (Segunda ed.)* New Jersey: Pearson Prentice Hall. Pág.11.

¹⁰ Referencia 10

transversales pero el espesor de la losa es igual al de los dos tipos antes mencionados (JPCP y JRCP).

-) Pavimento de concreto preesforzado o Prestressed Concrete Pavement (PCP): al ser aplicada una precompresión, los esfuerzos de tensión o tracción disminuyen cuando la estructura es sometida a cargas. Por lo tanto, la probabilidad de agrietamiento es menor y también se puede utilizar un menor número de juntas transversales.

No obstante, no es una solución ni muy económica ni muy práctica si se tiene en cuenta el enorme trabajo que implica la etapa de construcción.

Son dos las capas que forman parte de un pavimento rígido, la sub-base y la losa de concreto, y sus funciones se detallan a continuación:

Sub-base o base: los distintos autores citados en el presente documento concuerdan en que las funciones de la sub-base deberían ser las siguientes:

-) Servir como apoyo uniforme a la losa.
-) Control de bombeo: se debe tratar de evitar el bombeo, eyección de agua con suelo (mayormente finos), a través de las juntas, grietas y extremos del pavimento. El agua proviene de la infiltración por medio de las juntas, luego por acción de los movimientos repetitivos de la losa, por las pesadas cargas axiales del tránsito, los finos se van segregando y se licúan para posteriormente salir a la superficie.

Para que ocurra el bombeo se necesita que el suelo se encuentre saturado, por ello contar con un adecuado sistema de drenaje es una de las medidas más eficientes para contrarrestar ese efecto.

- J Mejorar el drenaje: otra opción a la situación descrita en el párrafo anterior es el uso de la sub-base para elevar el pavimento en caso la napa freática se encuentre muy superficial. Además, utilizar material uniformemente gradado para que conforme la capa, permitiría que el agua sea drenada rápidamente evitando la acumulación.

- J Reducir las consecuencias del congelamiento de los suelos: el limo es más susceptible al congelamiento que la arcilla por lo que habría que limitar el porcentaje existente en la sub-base. Para que se produzca congelamiento debe haber una fuente continua de agua, entonces si la napa freática se encuentra muy cercana a la sub-base se podría optar por deprimirla.

- J Controlar los cambios de volumen de la subrasante y disminuir los efectos que tales cambios puedan producir en la superficie.

- J Aumentar un poco la capacidad portante del suelo de la subrasante.

- J Facilitar la construcción: la sub-base se puede usar como plataforma para el paso de los equipos pesados de construcción.

Losa de concreto: sus funciones son similares a las de la carpeta asfáltica además de soportar y transmitir adecuadamente los esfuerzos provenientes de la superficie a las capas inferiores.

El principal criterio de diseño de un pavimento rígido considerado hasta hoy es el esfuerzo debido a la flexión. Los primeros diseños consideraban que el esfuerzo debido a cargas en las esquinas de la losa era el más crítico. No obstante, ahora es el esfuerzo en los extremos de la losa, debido a las cargas en el borde, el que se considera más crítico. Al igual que en los pavimentos flexibles, también en

los rígidos se desarrollaron diversos métodos de análisis y diseño. Seguidamente se nombran algunos de ellos¹¹:

- J Soluciones analíticas: Son tres, la fórmula de Goldbeck, el análisis de Westergaard basado en fundaciones o cimientos líquidos y el análisis de Pickett basado en cimientos sólidos. La primera considera al pavimento como una viga con una cara concentrada en la esquina. La segunda asume que la presión reactiva entre la losa y la subrasante en un punto es proporcional a la deflexión en ese mismo punto, así como que la losa y la capa inferior se encuentran en contacto pleno. El método de la PCA se basa en este análisis. Por último, el análisis de Pickett desarrolló soluciones teóricas en las cuales las losas de concreto se desenvolvían en un medio-espacio elástico.

- J Soluciones numéricas: En las soluciones analíticas se asumió que la losa y la capa adyacente se encontraban en contacto total, pero en la realidad este hecho no se cumple. Por ende, se desarrollaron métodos de elementos discretos y de elementos finitos.

Debido a que el comportamiento o la respuesta del pavimento no siempre se podrá predecir con total seguridad a partir de resultados teóricos fue necesario recopilar y cotejar con datos reales de desempeño. Es así como se reconoció lo siguiente:

- J Fatiga del concreto: Un esfuerzo de flexión repetido no causa necesariamente la ruptura del concreto simple y cuando no se exceda el cincuenta por ciento del módulo de ruptura.

¹¹ Huang, Y. (2004) *Pavement analysis and design (Segunda ed.)* New Jersey: Pearson Prentice Hall. Pág. 6-8

- J) Bombeo: Con el incremento del tráfico en las carreteras, se hizo evidente el importante rol que desempeñaba el tipo de subrasante que existía bajo el pavimento para su funcionamiento. Es así como se determinó que el uso de material granular como base ayudaba a contrarrestar el bombeo.

En resumen, el espesor y tipo de pavimento dependerá fundamentalmente de dos aspectos: las cargas y las solicitaciones climáticas a las que se verá sometido y al material que compone el suelo donde se va a asentar.

2.2.2. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Actualmente, la mayoría de los métodos de diseño de pavimentos no consideran la contribución de cada capa en la resistencia a la fatiga, asentamientos permanentes y el de agrietamiento por temperatura, más aún, cuando cada capa del pavimento tiene una función propia¹².

Los métodos denominados empíricos-mecanísticos pueden considerar la contribución estructural de las diferentes capas de un pavimento flexible, lo que no ocurre, por ejemplo, con el método AASHTO 1993. Recientemente la incorporación de los conceptos de la mecánica estructural denominados “conceptos mecanísticos” es utilizada en el análisis, diseño y refuerzo de la estructura de los pavimentos. Las Agencias de Transportes de los Estados de Illinois, Kentucky, Minnesota y Washington están adoptando procedimientos de diseño mecanísticos.

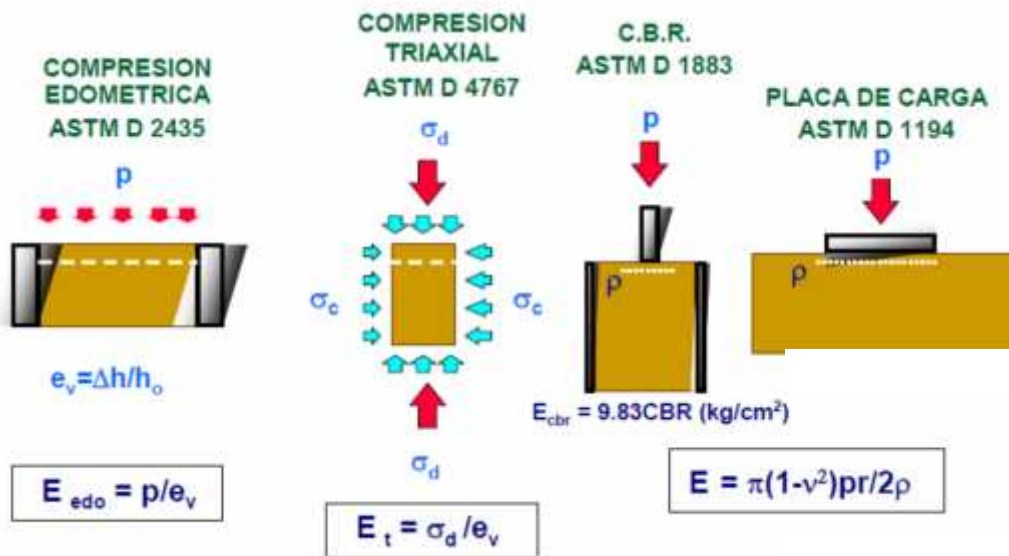
Módulo Elástico

El parámetro que se utiliza en la estimación de deformaciones bajo cargas estáticas es el módulo de elasticidad. El nivel de esfuerzos aplicado al suelo a través de la estructura del pavimento es mínimo comparado con la deformación en falla, por ello se asume que existe una relación lineal entre los esfuerzos y las deformaciones.

¹² S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: “Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos” – FIC UNI, 2006

El ensayo C.B.R. y el ensayo de placa de carga permite obtener los parámetros elásticos en la evaluación de la sub-rasante. Sin embargo, en nuestro medio no se utiliza la práctica ingenieril recomendada por Valle Rodas, 1967 de ensayar muestras inalteradas. La ventaja del ensayo C.B.R. es la evaluación de la influencia de la densidad natural y el humedecimiento¹³.

Figura 1. Ensayos para la obtención del Módulo Elástico



Fuente: S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Ensayos para la obtención del Módulo Elástico

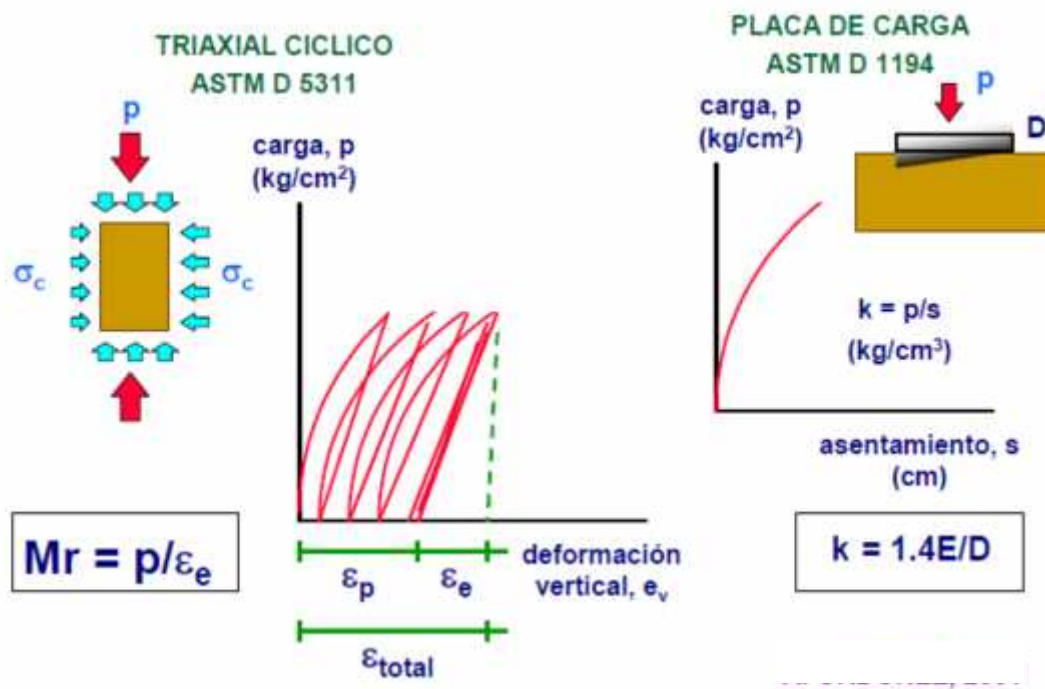
Cada ciclo de carga produce en el suelo una componente de deformación plástica, no recuperable y una componente de deformación elástica, recuperable. Con los ciclos siguientes de cargas los incrementos de deformación plástica producidos tienden a desaparecer, en cambio las deformaciones elásticas tienden a ser constantes.

¹³ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

El Módulo Resiliente, MR relaciona el esfuerzo aplicado y la deformación elástica en la condición estable o residual cuando el suelo presente un comportamiento elástico. El módulo resiliente no representa el comportamiento total, desde el inicio del ciclo de cargas hasta el final.

Sin embargo, el módulo resiliente relaciona las cargas móviles o rápidas y las deformaciones instantáneas resultantes. El valor del Mr puede ser 10 veces el valor del Módulo Elástico.

Figura 2. Ensayos para modelar el efecto de las cargas en el Pavimento



Fuente: S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Subrasante

La sub-rasante es "el nivel superior de la plataforma de una carretera donde se coloca la estructura del pavimento" (EG-2000, MTC). Sin embargo, el concepto de capacidad de soporte a nivel de sub-rasante o simplemente "capacidad de soporte de la sub-rasante" implica la evaluación estructural y por consiguiente la

determinación de la respuesta mecánica del subsuelo hasta la “profundidad donde pueden generarse deformaciones significativas”¹⁴.

La rehabilitación de carreteras y pavimentos urbanos exige disponer anualmente de montos importantes del Presupuesto de la Nación. En los EE.UU. también ocurrió esta misma situación hace más de 15 años. La conclusión fue que los métodos de diseño de estructuras de pavimentos eran básicamente empíricos y los conceptos de la mecánica estructural que se habían incorporado en las últimas décadas a la ingeniería civil, aún no se habían incorporado en la ingeniería de pavimentos. Actualmente la tendencia en los EE.UU. y países europeos es considerar períodos de diseño de 40-50 años mediante estructuras denominadas “pavimentos perpetuos”, que no requieren mantenimiento durante los primeros 20 años.

En la estructura de pavimento, las capas (elementos estructurales) que componen el pavimento no presentan asentamientos significativos, siendo la sub-rasante o cimentación del pavimento propenso a deformarse. Entonces, la primera conclusión es que las fallas estructurales que aún se presentan en nuestro medio, se deben a una limitada, incorrecta y no actualizada metodología de evaluación de la sub-rasante.

La ingeniería geotécnica nos describe un país donde se presentan suelos con respuesta mecánica variadas, utilizando términos como: suelos colapsables, expansivos, densificables, licuables, compresibles, suelos inestables no consolidados o de formación reciente (módulos elásticos menores a 100 kg/cm²), cuyo común denominador es presentar deformaciones significativas que afectarán estructuras de concreto y más aún a estructuras que admiten mucho menor valor de asentamiento admisible (menor a 1mm), como son las estructuras de pavimento.

¹⁴ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: “Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos” – FIC UNI, 2006

Definitivamente, un asentamiento mayor ocasiona la fatiga prematura de la carpeta asfáltica, elemento que es muy rígido (módulo elástico superior a 30,000kg/cm²).

En nuestro país, muchas generaciones de ingenieros utilizan el ensayo CBR, ASTM D 1883 para determinar la capacidad de soporte de la sub-rasante, sin embargo, no se considera la humedad ni la densidad “in situ”. Se asume generalmente que la capacidad de soporte de la sub-rasante es el resultado del ensayo asociado a la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado. Si bien es cierto que el ensayo CBR de campo es costoso y no sería recomendable realizarlo, existe otra alternativa propuesta basado en utilizar el mismo molde CBR, llevarlo al campo y con ello extraer una muestra inalterada. En suelos finos, areno limosos, los suelos más susceptibles a presentar alta deformabilidad se prestan para esta práctica. En el laboratorio, se realiza la prueba de penetración sobre la muestra en condiciones naturales obtenida con el molde CBR, obteniéndose un valor representativo del comportamiento de la sub-rasante¹⁵.

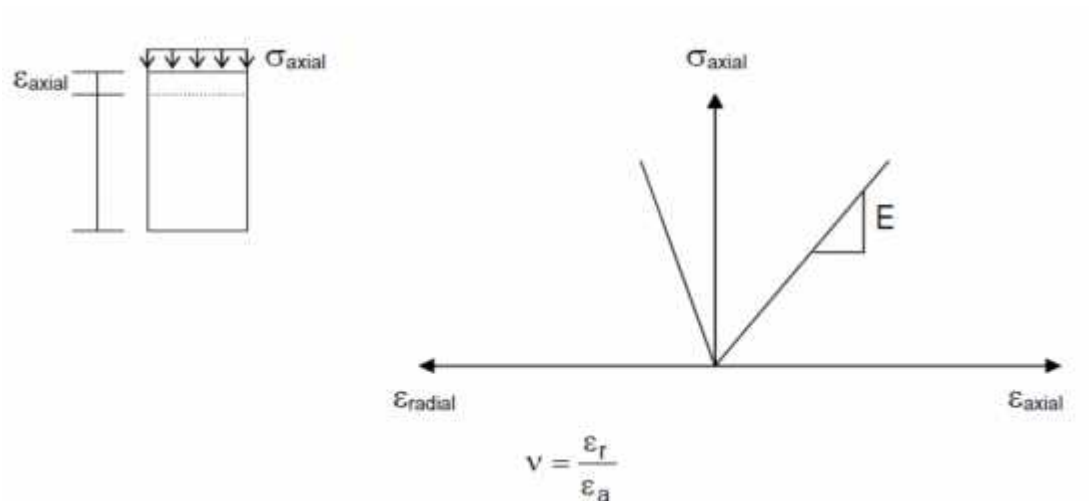
En depósitos de suelos granulares con presencia de boleos y bloques no consolidados de formación reciente, generalmente como resultado de fenómenos geodinámicos presentarán deformaciones permanentes acumulables debido a la densificación producida por el impacto de las cargas dinámicas de tránsito. En este aspecto, es preciso indicar que las deformaciones de estos suelos suelen ser de magnitudes similares a los suelos limo-arcillosos compresibles.

¹⁵ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: “Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos” – FIC UNI, 2006

Teoría elástica de medios Semi-infinitos

El cálculo de los esfuerzos transmitidos al terreno debido a la aplicación de las cargas de tránsito se basa en las siguientes consideraciones:

Se asume que el terreno se comporta elásticamente; es decir, que las deformaciones que se generan serán proporcionales a las cargas aplicadas.



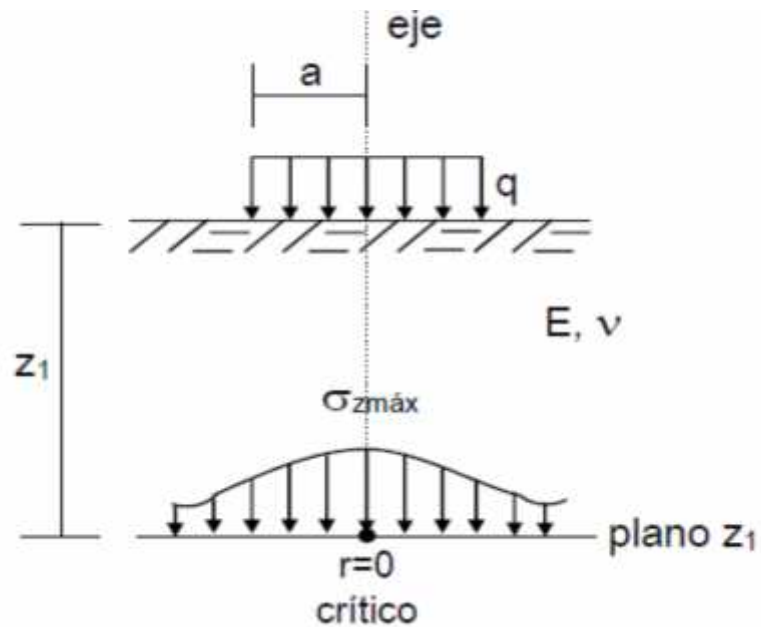
Donde:

- ν = relación de Poisson
- r = deformación radial
- a = deformación axial

Aplicación de la solución de Boussinesq y la Teoría Elástica

Considerando una carga circular uniformemente repartida de magnitud q , y un plano horizontal cualquiera a una profundidad z_1 , se tendrán los máximos esfuerzos verticales transmitidos, z máx, cuando $r=0$ (punto ubicado en el eje vertical).

Figura 3. Esfuerzo máximo vertical en el eje vertical



Fuente: S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Según Foster y Ahlvin (1954) tenemos los valores de $\sigma_{z\text{m}\acute{a}x}$, z y la deflexión (asentamiento máximo en el centro del área circular para $z=0$) es:

a) Esfuerzo máximo vertical (en el eje vertical)

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

note que el σ_z es independiente de E y ν .

b) Deformación máxima vertical (en el eje vertical)

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

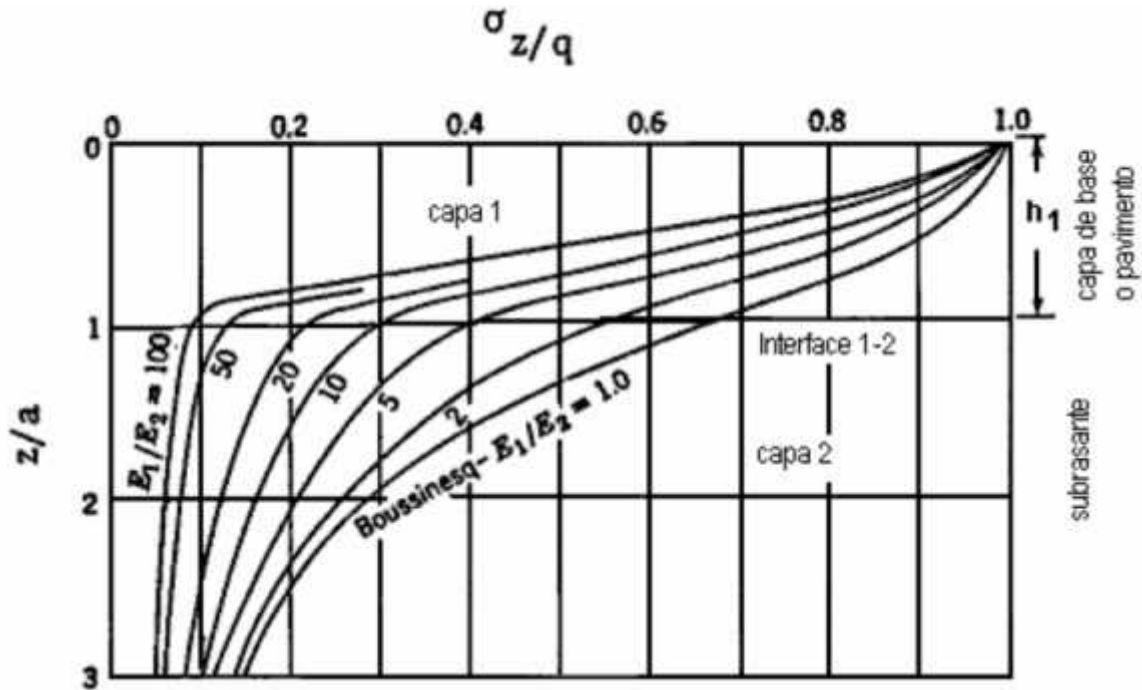
c) Deflexión vertical máxima en la superficie y en el centro de la carga circular.

$$\omega_0 = \frac{2(1 - \nu^2)}{E} q \quad P \quad z = 0 \text{ y } r = 0$$

Esfuerzos Verticales

Los esfuerzos verticales en un sistema de dos capas dependen de la relación de los módulos E_1/E_2 y la relación h_1/a . La figura 4. muestra el efecto de la capa de pavimento en la distribución de esfuerzos verticales bajo el centro del área circular cargada.

Figura 4. Esfuerzos verticales en medio de 02 capas



Fuente: Huang, Y. (1993). *Pavement Analysis and Design*. Person Prentice- Hall, Inc

Para la carta mostrada la $\nu = 0.5$ asumida para todas las capas. Se puede observar que los esfuerzos verticales decrecen significativamente con el incremento de la relación de módulos.

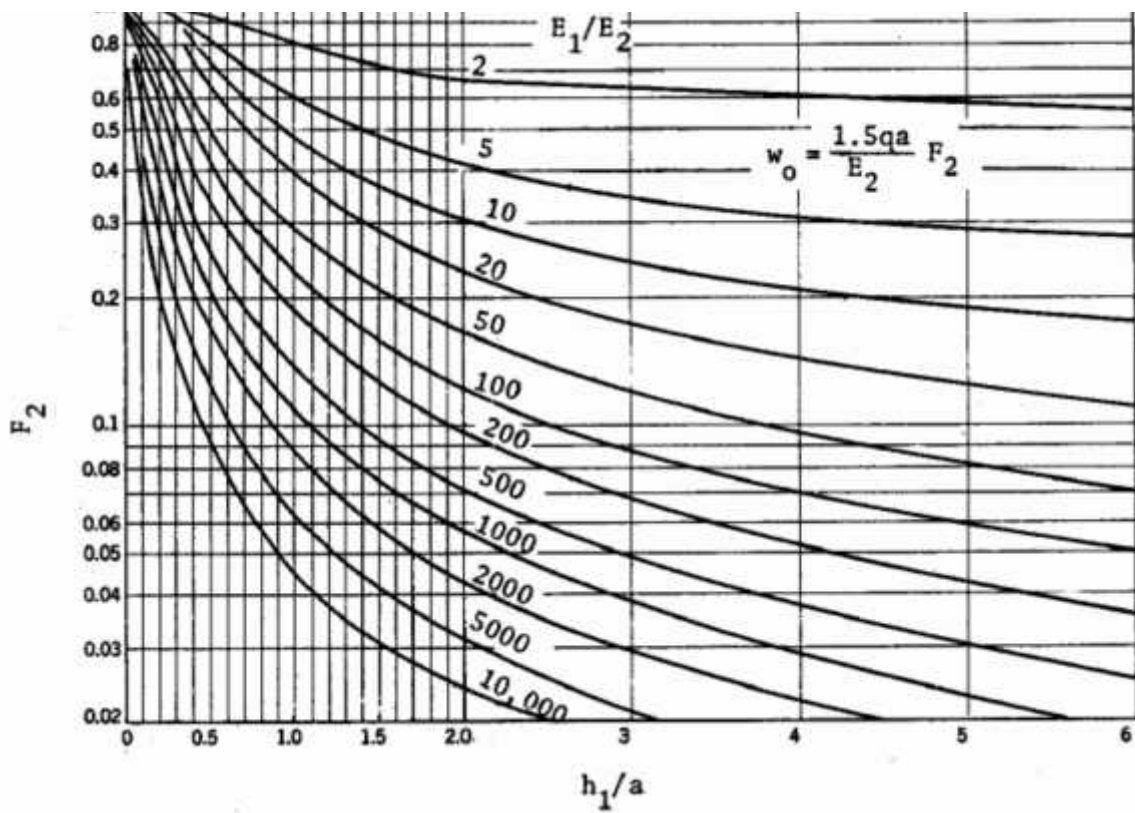
En la interface pavimento-subrasante, el esfuerzo vertical es aproximadamente el 68% de la presión aplicada si $E_1/E_2 = 1$, y se reduce alrededor del 8% de la presión aplicada si $E_1/E_2 = 100$.

Deflexiones Verticales (asentamientos)

La deflexión vertical superficial se usa como criterio en el diseño de pavimentos. La figura 5. se puede usar para definir las deflexiones verticales de sistemas de 2 capas¹⁶.

¹⁶ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Figura 5. Deflexiones verticales en la superficie para sistemas de 02 capas (Burmister 1943)



Fuente: Huang, Y. (1993). *Pavement Analysis and Design*. Person Prentice- Hall, Inc

La deflexión se expresa en función del factor de deflexión F_2 por:

$$\omega_0 = \frac{1.5 q a}{E_2} F_2$$

El factor de deflexión está en función de E_1/E_2 y h_1/a .

Sistema Elástico de Múltiples Capas

El sistema elástico de múltiples capas está compuesto por el sistema de n-capas en coordenadas cilíndricas, la capa n-ésima es de espesor infinito. Para cada capa se debe conocer su módulo de elasticidad E y su relación de Poisson ν .

Para restablecer la condición entre las interfaces de este sistema de múltiples capas, se debe evaluar la condición "ligada" o "no ligada". El término "ligado" es un requerimiento necesario para establecer la condición de frontera o interface entre las capas de una estructura de pavimentos, de tal manera que se facilite la solución numérica de la ecuación diferencial del problema elástico, vía elementos finitos o diferencias finitas. Esto quiere decir que el término tiene una connotación matemática y física, equivalente a un modelo de interface entre capas¹⁷.

En una interface tenemos que modelar la "transición" que existe entre los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos de los materiales vecinos. Si asumimos que estas variables serán iguales, estaremos en la condición "ligada", si alguna de estas variables fuera diferente la condición sería "ligado intermedio" y si las variables del estado de esfuerzo tensional fueran diferentes sería "no ligado".

En cualquier caso, estaremos ante la necesidad de modelar la interface. Este problema es común en un problema geotécnico donde se involucran materiales diferentes, sobre todo si uno de ellos está sometido a esfuerzos mayores o concentrados, por ejemplo, un anclaje o una capa de refuerzo, en el pavimento por ejemplo sería el modelar la presencia de una geomalla. Este problema puede ser de difícil solución, salvo se implementen modelos de transferencia, basados en investigaciones experimentales¹⁸.

En un problema convencional de pavimentos, la cosa se simplifica, dado que los materiales granulares con especificaciones rigurosas, friccionantes y compactados siempre obedecerán a una interface "ligada". Por ello los textos de

¹⁷ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

¹⁸ Referencia 13

pavimentos cuando se refieren a este aspecto indican que el problema se debe considerar casi siempre como "ligado". Sin embargo, siempre hay excepciones y se puede dar el caso de ligado intermedio.

Es muy difícil encontrar una interface no ligada, salvo corresponda a un diseño particular deficiente, y por lo tanto no tendría importancia en la práctica ingenieril. Por ejemplo, una carpeta asfáltica en caliente rígida sobre una subrasante arcillosa húmeda (aunque sea de consistencia dura, pero con interface de baja resistencia tangencial o cortante).

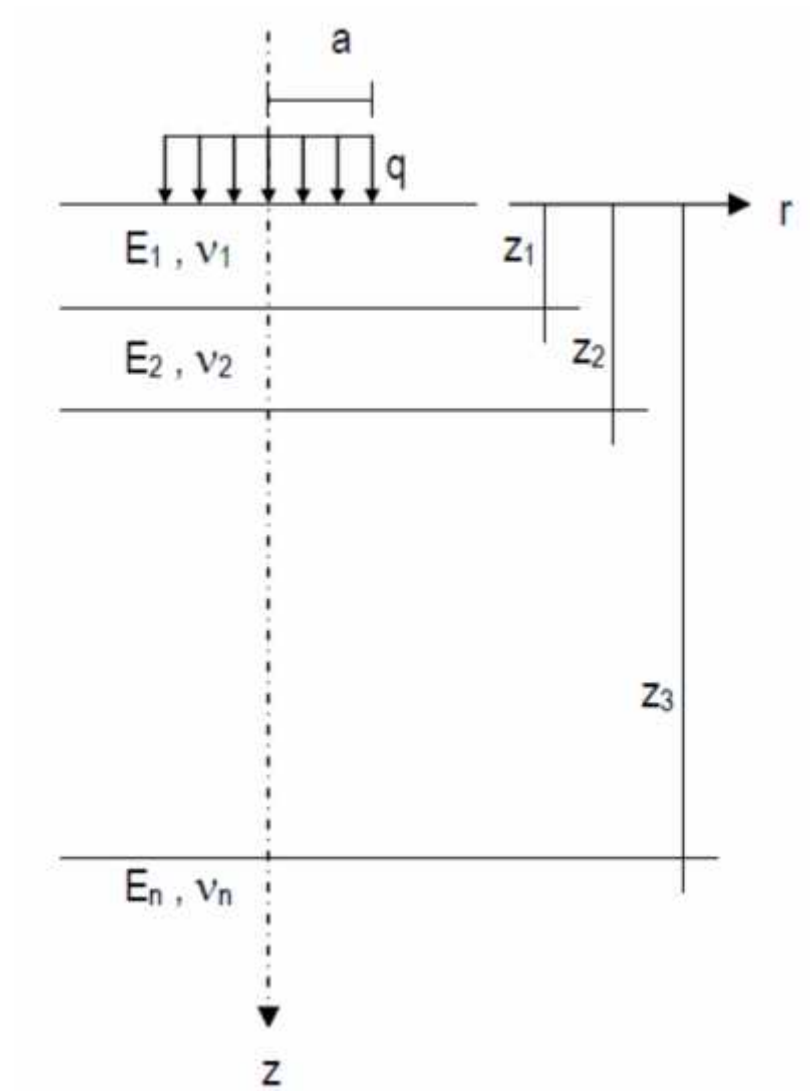
Las arcillas húmedas presentan un comportamiento del tipo no drenado (fricción nula) y en la carpeta existiría una concentración de esfuerzos donde los esfuerzos tangenciales horizontales generarían desplazamientos relativos en la interface. En conclusión, se recomienda utilizar la condición ligada, en los programas de análisis deformacional que existen en nuestro medio¹⁹.

Darles solución a sistemas elásticos de múltiples capas es tarea difícil, para ello se usan herramientas como los programas de cómputo. En el medio hay diferentes programas entre ellos el Programa Kenlayer de la Universidad de Kentucky, este programa puede ser aplicado sólo en problemas de pavimentos asfálticos²⁰.

¹⁹ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

²⁰ Referencia 13

Figura 6. Sistema elástico de múltiples capas en coordenadas cilíndricas



Fuente: S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

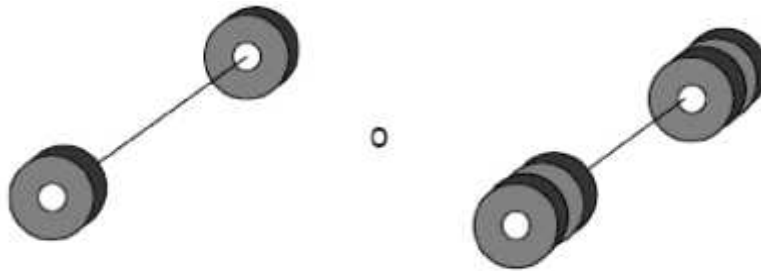
2.2.3. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO

Sin duda alguna uno de los aspectos a tomar en consideración en el diseño de pavimentos es el tránsito, pues el número y peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento²¹.

Tipos de eje

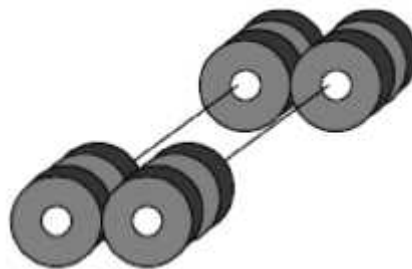
Eje sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.

Figura 7. Eje sencillo



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

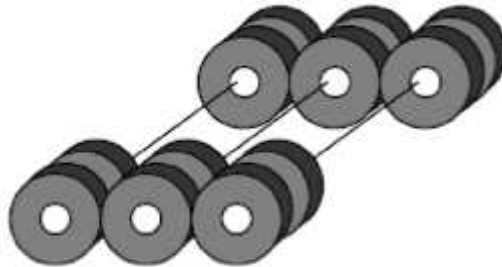
Figura 8. Eje Tándem



²¹ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

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

Figura 9. Eje Tridem



CLASIFICACIÓN POR TIPO DE VEHÍCULO²²

Furgoneta:

Vehículo automotor para el transporte de carga liviana, con 3 ó 4 ruedas, con motor de no más de 500 cm³ de cilindrada.

Automóvil:

Vehículo automotor para el transporte de personas normalmente hasta de 6 asientos y excepcionalmente hasta de 9 asientos.

Station Wagon:

Vehículo automotor derivado del automóvil que, al rebatir los asientos posteriores, permite ser utilizado para el transporte de carga.

Camioneta pick-up:

Vehículo automotor de cabina simple o doble, con caja posterior destinada para el transporte de carga liviana y con un peso bruto vehicular que no exceda los 4,000 kg.

²² S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Camioneta panel:

Vehículo automotor con carrocería cerrada para el transporte de carga liviana con un peso bruto vehicular no exceda los 4,000 kg.

Camioneta rural:

Vehículo automotor para el transporte de personas de hasta 17 asientos y cuyo peso bruto vehicular no exceda los 4,000 kg.

Ómnibus:

Vehículo autopropulsado, diseñado y construido exclusivamente para el transporte de pasajeros y equipaje, debe tener un peso seco no menor de 4,000 kg.

Camión:

Vehículo autopropulsado motorizado destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular igual o mayor a 4,000 kg. Puede incluir una carrocería o estructura portante.

Remolcador o Tracto camión:

Vehículo motorizado diseñado para remolcar semirremolques y soportar la carga que le transmite estos a través de la quinta rueda.

Remolque:

Vehículo sin motor diseñado para ser jalado por un camión u otro vehículo motorizado, de tal forma que ninguna parte de su peso descansa sobre el vehículo remolcador.

Semirremolque:

Vehículo sin motor y sin eje delantero, que se apoya en el remolcador transmitiéndole parte de su peso, mediante un sistema mecánico denominado tornamesa o quita rueda.

DEFINICIONES²³

El capítulo 4 del D.S. N°034-2001-MTC, considera los pesos y medidas vehiculares, a continuación, se darán algunas definiciones para un mejor entendimiento.

Capacidad de carga:

carga máxima permitida para lo cual fue diseñado el vehículo. Es la diferencia entre el peso bruto vehicular y la tara del vehículo.

Carrocería:

Estructura que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de carga y/o personas.

Chasis:

Estructura básica del vehículo, compuesta por el bastidor. El tren motriz y otras partes mecánicas relacionadas.

Eje motriz:

Eje utilizado para transmitir la fuerza de tracción.

Eje no motriz:

Eje que no transmite fuerza de tracción.

Eje(s) delantero(s):

Eje(s) situado(s) en la parte anterior del chasis.

Eje(s) central(es):

Eje(s) situado(s) en la parte central del chasis.

²³ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

Eje(s) posterior(es):

Eje(s) situado(s) en la parte posterior del chasis.

Eje simple (un solo eje):

Constituido por un solo eje no articulado a otro, que puede ser, motriz o no, direccional o no anterior, central o posterior.

Eje doble (tándem):

Es el conjunto constituido por dos (2) ejes articulados al vehículo por dispositivo(s) común(es) separados a una distancia determinada pudiendo ser motriz o no motriz.

Eje triple (Tridem):

Es el conjunto de tres (3) ejes articulados al vehículo por dispositivo(s) común(es) separados a una distancia determinada pudiendo ser motriz o no motriz.

Peso legal:

Es la carga máxima por eje permitida en los diferentes tipos de carreteras de acuerdo al reglamento.

Peso bruto vehicular simple:

Tara del vehículo más la capacidad de carga.

Peso bruto vehicular combinado:

Peso bruto vehicular de la combinación camión más remolque, y/o tracto-camión más semirremolque o camión más remolque balanceado.

Peso máximo por eje:

Es la carga permitida según el tipo de eje.

Tara de un vehículo (peso seco):

Peso del vehículo, en orden de marcha, excluyendo la carga (incluye el peso del combustible con los tanques llenos, herramientas y neumáticos de repuesto).

Tráiler:

Vehículo no motorizado con dos o más ejes que es remolcado por un camión.

Volquete:

Vehículo diseñado con un dispositivo mecánico para volcar la carga transportada.

Eje doble (no tándem):

Es el conjunto constituido por dos (2) ejes separados a una distancia determinada pudiendo ser motriz o no motriz.

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.

Transito Actual

El Tránsito Actual (TA) es el tránsito que usará las vías mejoradas en el momento de quedar completamente en servicio, en el presente caso el tránsito actual se compone del tránsito existente (TE) antes de la mejora y del tránsito atraído (Tat) a las nuevas vías una vez finalizada la construcción.

$$TA = TE + Tat$$

El tránsito existente (TE) es aquel que circula por la vía en estudio en la situación sin proyecto, que va crecer independientemente de la realización del

proyecto de las vías, por el normal desarrollo del área de influencia del proyecto mismo.

Transito Atraído

El tránsito atraído (Tat) estará compuesto por los vehículos que no cambian ni su origen ni su destino, ni su modo de viaje, pero eligen la vía motivados por las mejoras en los tiempos de recorrido y en las distancias principalmente.

Al ser el tramo aproximadamente homogéneo, no se incrementará las unidades de transporte de pasajeros ni de carga, hasta que se construya las vías.

Transito Generado

El Tránsito Generado, por su parte consta de aquellos viajes vehiculares que no se realizarían si no se construyera las vías, el tránsito generado se compone de tres categorías, del tránsito inducido, el tránsito convertido y el tránsito trasladado.

El transito Generado depende de la magnitud de la mejora de la vía a intervenir, se recomienda considerar una estimación del 10% del tránsito actual, este porcentaje ha sido tomado considerando estudios similares en la zona.

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).

Por ejemplo, de un aforo realizado durante una semana se obtuvieron los siguientes resultados:

Dias	N° vehiculos
Lunes	140
Martes	120
Miercoles	160
Jueves	210
Viernes	220
Sabado	190
Domingo	170
IMDS	146

Fuente: Elaboración Propia

Peso Vehicular

Figura 10. Peso según el tipo de eje

Eje(s)	Neumático	Gráfico			Kilos
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Simple	2				7,000
Simple	4				11,000
Doble	6				16,000
Doble	8				18,000
Triple	10				23,000
Triple	12				25,000

Fuente: D.S. N°034-2001-MTC: "Reglamento nacional de vehículos"

El peso bruto vehicular máximo es de 48,000 kg. El exceso de peso permitido por eje se denominará tolerancia:

Tabla 1. Tolerancia del peso Permitido por eje

Eje(s)	Neumáticos	Tolerancia
Simple	02	350 kg
Simple	04	550 kg
Doble	06	800 kg
Doble	08	900 kg
Triple	10	1150 kg
Triple	12	1250 kg

Fuente: D.S. N°034-2001-MTC: "Reglamento nacional de vehículos"

Período 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.

Tabla 2. Tabla de dimensiones y carga

SIMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MAXIMO
			EJE DLANTERO	CARGA POR EJE O CJTO POSTERIOR			
				1°eje	2°eje	3°eje	
C2		12.30	7	11			18
C3		13.20	7	18			25
C4		13.20	7	25			32
8x4		13.20	7+7	18			32
T2S1 O 2S1		20.50	7	11	11		29
T2S2 O 2S2		20.50	7	11	18		36
T2Se2		20.50	7	11	11	11	40
T2S3 O 2S3		20.50	7	11	25		43
T2Se3		20.50	7	11	11	18	47
T3S1 O 3S1		20.50	7	18	11		36
T3S2 O 3S2		20.50	7	18	18		43

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, publicado en El Peruano, el 25 de julio del 2001, Pág. 207449

Tabla 3. Tabla de dimensiones y carga





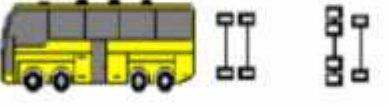

SIMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)					PESO BRUTO MAXIMO
			EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CJTO POSTERIOR				
				1'eje	2'eje	3'eje	4'eje	
T3Se2		20.50	7	18	11	11		47
T3S3 O 3S3		20.50	7	18	25			48
T3Se3		20.50	7	18	11	18		48*
C3R2 O 2T2		23.00	7	11	11	11		40
C3R3 O 2T3		23.00	7	11	11	18		47
C3R2 O 3T2		23.00	7	18	11	11		47
C3R3 O 3T3		23.00	7	18	11	18		48
C3R4 O 3T4		23.00	7	18	18	18		48
C4R2		23.00	7	25	11	11		48
C4R3		23.00	7	25	11	18		48
8x4R2		23.00	7+7	18	11	11		48
8x4R3		23.00	7+7	18	11	18		48

Tabla 4. Tabla de dimensiones y carga

SIMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MAXIMO
			EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CJTO POSTERIOR			
				1°eje	2°eje	3°eje	
8x4R4		23.00	7+7	18	18	18	48
C2RB1		20.50	7	11	11		29
C2RB2		20.50	7	11	18		36
C2RB3		20.50	7	11	25		43
C3RB1		20.50	7	18	11		36
C3RB2		20.50	7	18	18		43
C3RB3		20.50	7	18	25		48
C4RB1		20.50	7	25	11		43
C4RB2		20.50	7	25	18		48
C4RB3		20.50	7	26	25		48
8x4RB1		20.50	7+7	18	11		43
8x4RB2		20.50	7+7	18	18		48

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, publicado en El Peruano, el 25 de julio del 2001, Pág. 207451

Tabla 5. Tabla de dimensiones y carga

SÍMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MÁXIMO	
			EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CJTO POSTERIOR				
				1º eje	2º eje	3º eje		4º eje
B4FE3		20.50	7+7	18	25		48	
TZS2 S3			7	11	18	11	18	48+
B2		13.20	7	11			18	
B3-1		14.00	7	16			23	
B4-1		15.00	7+7	16			30	
BA-1		18.30	7	11	7		25	

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, publicado en El Peruano, el 25 de julio del 2001, Pág. 207452

Carril 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. Las recomendaciones del Instituto del Asfalto y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), son²⁴:

Instituto del Asfalto

Nº carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35 – 48)
6 o más	40 (25 – 48)

Fuente: Asphalt Institute (1919).

ASSHTO

Parte del conteo en ambas direcciones, el factor direccional recomendado es de 50%, aunque este valor puede variar entre 30 a 70%. El tráfico en un sentido se separa para el carril de diseño según la recomendación:

²⁴ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

N° carriles en 1 dirección	% ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

ESAL Eje simple equivalente de carga

Fuente: AASHTO, Guide for Design Of Pavement Structures. (1993).

Crecimiento del Tránsito

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.

El crecimiento puede considerarse como el **Factor de Crecimiento**:

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

Donde:

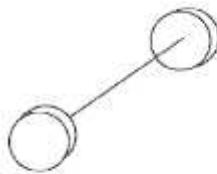
- r** tasa de crecimiento anual, %
- n** período de diseño en años

2.2.4. 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 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.

Figura 11. Eje estándar de 18000 lb



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 Test²⁵.

²⁵ S. MINAYA & A. ORDOÑEZ: "Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos" – FIC UNI, 2006

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:

$$F = \left(\frac{p_1}{p_c}\right)^4$$

Dónde: P0 es la carga estándar y P1 es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular.

En la tabla 7 se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 1986.

Tabla 6. Factores de equivalencia de carga

Carga bruta por eje		factores de equivalencia de carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
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	0.00877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.36	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80	18,000	1	0.077	0.017
89	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.18	0.04
106.8	24,000	3.03	0.26	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.08
124.5	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	38,000	17.2	1.7	0.393
178	40,000	21.08	2.08	0.487
187	42,000	25.64	2.051	0.597
195.7	44,000	31	3	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.5	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	56,000		7.41	1.91
258	58,000		8.45	2.2
267	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320	72,000		19.16	5.03
329	74,000		21.32	5.57
338	76,000		23.66	6.15
347	78,000		26.22	6.78
356	80,000		29	7.45
364.7	82,000		32	8.2
373.6	84,000		35.3	8.9
382.5	86,000		38.8	9.8
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

Para el cálculo de los EE, se utiliza las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las tablas de la AASHTO 93, para las diferentes combinaciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento.

Relación de carga por Eje para determinar Ejes Equivalentes(EE)

Para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tabla 7. Relaciones simplificas de carga para determinar ejes equivalentes

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1}=(P/6.6)^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2}=(P/8.2)^{4.0}$
Eje Tándem (1 eje de ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1}=(P/14.8)^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2}=(P/15.1)^{4.0}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1}=(P/20.7)^{3.9}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2}=(P/21.8)^{3.9}$
P =peso real por eje en toneladas	

Fuente: AASHTO, Guide for Dising Of Pavement Structures. (1993).

2.2.5. DISEÑO ESTRUCTURAL Y RECAPEOS ASSHTO 93

Conceptos básicos del Diseño Estructural de Pavimentos (Guía de diseño aashto 1993)

Desde que los pavimentos, nuevos o rehabilitados, han sido diseñados para periodos desde los 10, 20 o más años, ha sido necesario predecir la cantidad de ejes equivalentes de diseño ESALs dentro del diseño. El periodo de vida útil, a menudo referido como periodo de diseño, es definido como el periodo de tiempo entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que este alcanza un grado de serviciabilidad mínimo²⁶.

La Guía de Diseño AASHTO 93 estimula el uso de períodos de análisis grandes, incluyendo al menos un periodo de rehabilitación. Se debe distinguir dos conceptos que habitualmente se confunden: Periodo de desempeño o vida útil, y el periodo de análisis. Se dice además que el periodo de análisis debe ser mayor o igual al periodo de desempeño.

Periodo de Desempeño o Vida útil (Performance Period):

Con la edad del pavimento, su condición gradualmente se deteriora hasta un punto donde es necesario algún tipo de tratamiento de rehabilitación. Así, el periodo de desempeño es aquel periodo que se encuentra entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que este alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El periodo de desempeño también puede denominarse como periodo de diseño. La selección del periodo dependerá de la clasificación funcional del pavimento, el tipo y nivel de mantenimiento aplicado, los fondos disponibles para la construcción inicial, ciclos de costo de vida, y otras consideraciones ingenieriles. Para el periodo de desempeño, el diseñador debe

²⁶ Universidad de Costa Rica "Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera"

seleccionar los límites mínimos y máximos, los cuales vienen dados por la experiencia de la Agencia de transportes y sus políticas.

Debe tenerse claro que el periodo de desempeño máximo, es una cantidad práctica máxima del tiempo que el usuario puede esperar de una etapa dada. Es decir, si la experiencia indica que las áreas de pavimentos originalmente diseñados para al menos 20 años, requerirán algún tipo de rehabilitación dentro los primeros 15 años posteriores a la construcción, será este periodo de 15 años el que corresponderá al periodo de desempeño máximo para ese pavimento²⁷.

El periodo de desempeño no debe ser confundido con la vida del pavimento. Puesto que la vida del pavimento puede ser extendida por la rehabilitación periódica de la superficie o estructura del pavimento.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la selección de periodos de tiempo muy extensos puede conllevar a obtener diseños poco realistas en el campo. Por ello, si se considera un análisis de costos por ciclos de vida, es necesario tener en cuenta periodos máximos de desempeño que sean prácticos conforme al tipo de pavimento.

Periodo de Análisis (Analysis Period)

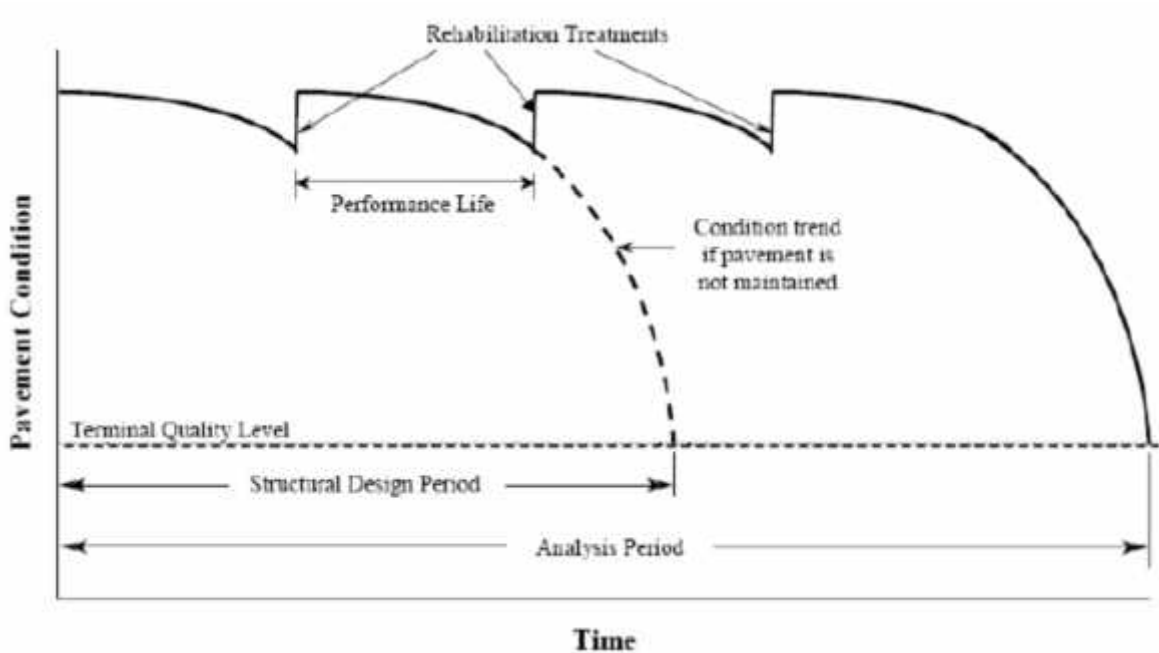
Es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir. Es por tanto el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

Puede ser igual que la vida útil, pero en casos en donde se prevén reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el periodo de análisis comprende varios periodos de vida útil que son: el del pavimento original y el de las

²⁷ Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

distintas rehabilitaciones. La figura siguiente ilustra los conceptos expuestos de Periodo de Análisis y Periodos de Desempeño:

Figura 12. Representación gráfica del concepto de periodo de Análisis y periodo de Desempeño



Fuente: Pavement type Selection Protocol. Washington State Department.2005

Los periodos de análisis recomendados en la AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 son los siguientes:

Tabla 8. Periodos de Análisis recomendados en la AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tipo de carretera	Periodo de análisis
Urbana con altos volúmenes de transito	30 – 50 años
Interurbana con altos volúmenes de transito	20 – 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de transito	15 – 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de transito	10 – 20 años

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Es recomendable la consideración de periodos largos, con la finalidad de evaluar y seleccionar alternativas de estrategias a largo plazo basado en análisis de costos por ciclos de vida. Por ejemplo, si la alternativa de un diseño de un pavimento requiere rehabilitación en el año 15 y la otra alternativa requiere una rehabilitación en el año 25, un periodo de análisis de 20 años no proveerá una comparación adecuada entre ambas alternativas, puesto que una de las alternativas incluirá los costos de rehabilitación mientras que la segunda no lo hará. En general, el periodo de análisis seleccionado deberá incluir al menos una actividad de rehabilitación para cada alternativa. En el ejemplo un periodo apropiado de análisis podría ser 30 años o incluso 50 años dependiendo de la programación de las actividades de rehabilitación²⁸.

Periodos de Vida útil recomendados para períodos de Análisis extensos

Para el periodo de vida útil, el diseñador debe seleccionar los límites mínimos y máximos, los cuales vienen dados por la experiencia de la Agencia de transportes y sus políticas. Debe tenerse claro que el periodo de desempeño máximo, es una cantidad práctica máxima del tiempo que el usuario puede esperar de una etapa dada.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la selección de periodos de desempeño o vida útil muy extensas puede conllevar a obtener diseños poco realistas en el campo. Por ello, si se considera un análisis de costos por ciclos de vida, es necesario tener en cuenta periodos máximos de desempeño que sean prácticos conforme al tipo de pavimento.

Es necesario tener claro que existe una diferencia importante entre el concepto de periodo de análisis y el periodo de desempeño o vida útil para una estructura de pavimento. El uso de periodos de análisis extensos es recomendable cuando se realizan análisis de Costos por Ciclos de Vida para la selección de la

²⁸ Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

mejor alternativa. Por otro lado, dentro de un mismo periodo de análisis es posible que haya uno o más periodos de desempeño de pavimentos cuando se consideran diferentes etapas de construcción (periodo de desempeño es equivalente a decir periodo de diseño, o vida útil de un pavimento)²⁹.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que considerar una vida útil muy extensa puede conllevar a obtener diseños poco realistas en desempeño en campo al largo plazo. Así, por ejemplo, el Florida Department of Transportation Pavement Management Office, en su “Flexible Pavement Design Manual” (marzo 2008) sugiere los siguientes periodos de diseño para pavimentos flexibles:

Tabla 9. Periodos de Diseño para Pavimentos Flexibles

Construcción nueva o reconstrucción	20 años
Sobrecapas si escarificado o fresado	8 – 20 años
Sobrecapa con fresado	
Acceso Limitado	12 – 20 años
Acceso Ilimitado	14 – 20 años
Sobrecapa de Pavimentos rígidos	8 – 12 años

Fuente: Florida departamento of Transportation Pavement management office” Flexible Pavement design manual

Teniendo en consideración la tabla anterior, y en vista de las diferencias existentes en los conceptos presentados. Es recomendable emplear periodos de análisis extensos, sin embargo cuando se considera el periodo de desempeño o vida útil es recomendable emplear periodos menores que sean prácticos conforme al tipo de pavimento y la experiencia en campo de proyectos de anteriores.

²⁹ Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

Importancia del Retrocálculo de Módulos para la determinación de la Capacidad Estructural existente

Uno de los métodos más confiables para determinar la condición estructural de un pavimento en servicio es el uso de ensayos de deflexión no destructivos (NDT, por sus siglas en inglés). Entre las mayores ventajas que ofrecen los ensayos de deflexión no destructivos se mencionan que: son ensayos que se realizan in situ, donde se evalúa el pavimento sin ninguna modificación o alteración de las condiciones, y la segunda ventaja es que los ensayos son relativamente rápidos y baratos³⁰.

Los equipos de deflexión no destructivos, NDT, aplican una carga al pavimento y miden la deflexión máxima resultante de la superficie o depresión dejada por la deflexión de la superficie. La deflexión de un pavimento en respuesta a una carga aplicada representa un sistema global de respuesta. El Deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés) es el dispositivo de deflexión utilizado más comúnmente. Durante el ensayo FWD se deja caer un peso (W) desde una altura conocida (H), las deflexiones en la superficie se miden a través de una serie de sensores geófonos en distancias fijas desde la carga. Con la carga conocida, las deflexiones y el grosor de la capa del pavimento, se puede calcular el módulo por medio de modelos matemáticos y/o empíricos, lo que se conoce como Retrocálculo de Módulos.

El retrocálculo de módulos es esencialmente una evaluación mecánica, usualmente es un análisis elástico del pavimento. Es un procedimiento iterativo mediante el cual se busca encontrar una deflexión similar a la obtenida por los equipos de medición y como consecuencia se obtiene el valor de módulo de las diferentes capas de la estructura del pavimento.

³⁰ Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

En general, un sistema más débil se deflectará más que un sistema más fuerte bajo la misma carga; sin embargo, la forma exacta de la depresión está relacionada con la resistencia de los componentes individuales de las capas.

De esta manera determinar la condición estructural del pavimento es importante para procesar los requerimientos de carga, seleccionar estrategias de rehabilitación y otras actividades de la administración de los pavimentos.

El método AASHTO 93 emplea el concepto de Número Estructural (SN) que representa la capacidad del pavimento para soportar las solicitaciones de tráfico. Y en el caso de sobrecapas, el método se basa en el siguiente supuesto general: El espesor de refuerzo se define como: Diferencia entre la capacidad estructural necesaria para soportar el tráfico previsto durante el periodo de proyecto de refuerzo y la capacidad estructural actual de pavimento³¹.

El procedimiento se basa en: 1) determinar el Número Estructural (SN) necesario para soportar el tráfico previsto y 2) calcular el Número Estructural efectivo del pavimento existente. La diferencia define el refuerzo necesario expresado como número estructural.

El número estructural para el tráfico futuro se determina con el mismo procedimiento que para un pavimento nuevo, es decir, calculando el número de ejes de 80KN estimado para la vida del proyecto y estableciendo los niveles de servicio inicial y final del pavimento que se desea reforzar. El cálculo se asocia a una probabilidad mediante la asignación de un nivel de confianza del diseño y de un coeficiente de desviación típica como una medida de la variabilidad de los datos de entrada. Finalmente es necesario determinar un módulo resiliente para la subrasante. Lo que se puede realizar mediante ensayos de laboratorio. Otro

³¹ Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

procedimiento más habitual es determinarlo mediante un retrocálculo de módulos a partir de las deflexiones obtenidas con los ensayos.

El número estructural efectivo (S_{Neff}) es una medida de la capacidad estructural actual (en el momento de la medición) del pavimento. Se definen tres métodos alternativos para establecerlo. Es recomendable que el ingeniero emplee el más conveniente de acuerdo a la experiencia y propio criterio. Los tres métodos se mencionan a continuación³²:

1. Método del análisis de los componentes:

Se determina la capacidad estructural efectiva (S_{Neff}) del pavimento asignando coeficientes estructurales, a_i , a cada una de las capas “i” y sumando todos ellos. Normalmente, los valores que se asignan a las capas son inferiores a los correspondientes a ese mismo tipo de material recién construido. El método AASHTO proporciona orientaciones y criterios para asignar valores en función de los daños observados o de los ensayos realizados.

2. Método de la vida remanente:

Este método se basa en la determinación de la reducción de la capacidad estructural del pavimento debido a la fatiga acumulada en los materiales. En el apartado siguiente se explicará con más detalle este método.

3. Método utilizando ensayos no destructivos (NDT)

Cuando se dispone de ensayos de deflexión realizados con deflectómetro de impacto o viga Benkelman, los datos sirven para determinar las propiedades (módulos) de los materiales necesarios para determinar la capacidad

³² Universidad de Costa Rica “Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”

estructural efectiva, actual y futura.

2.2.6. DISEÑO DE RECAPEOS ASSHTO 93

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo y deterioro de la estructura y superficie existente y se tienen los siguientes casos³³.

-) AC sobre pavimento AC

-) AC sobre pavimento fracturado de PCC

-) AC sobre JPCP, JRCP o CRCP

-) AC sobre AC/JPCP, AC/JRCP o AC/CRCP

-) PCC con pasadores sobre pavimento PCC

-) PCC sin pasadores sobre pavimento PCC

-) PCC sobre pavimento de AC

La versión de recapeos de la AASHTO 1986 tenía muchas contradicciones y problemas, es por eso que la AASHTO la reformulo y modifiko para la guía de 1993

Las siguientes abreviaturas fueron establecidas en esta guía³⁴:

³³ AASHTO, *Guide for Dising Of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.*

³⁴ AASHTO, *Guide for Dising Of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.*

-) AC = concreto asfáltico (también se le llama HMA)
-) PCC = concreto de cemento Portland
-) JPCP = pavimento de concreto simplemente unido
-) JRCP = pavimento de concreto con uniones reforzadas
-) CRCP = pavimento de concreto con refuerzo continuo
-) AC/PCC = concreto de cemento Portland con recapeo de asfalto

Un proyecto de recapeo puede incluir secciones con longitudes de unos cuantos metros a varios kilómetros, el cómo se va a dividir el proyecto es un aspecto a tomar en consideración, ya que esto determinara el espesor del recapeo para cada sección.

Dos conceptos a explicar:

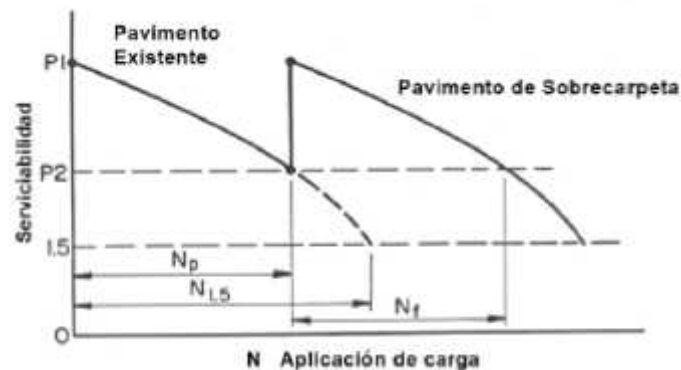
-) Diseño de Recapeo del Proyecto
-) Deficiencia Estructural

Dos métodos utilizados, a ser seleccionados en base a las condiciones específicas del proyecto.

-) Método de la Sección Uniforme
-) Método Punto por Punto

El recapeo tiene como objetivo el corregir la deficiencia estructural e incrementar su habilidad de soportar cargas por un tiempo determinado.

Figura 13. pérdida de capacidad estructural después de N aplicaciones de carga



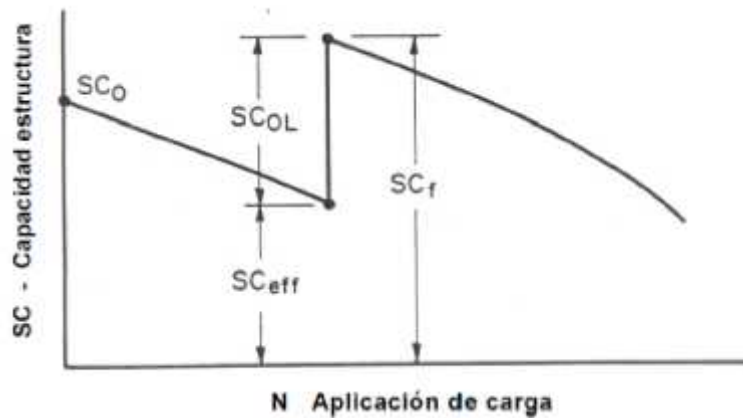
Fuente: AASHTO, *Guide for Dising Of Pavement Structures*. (1993).

Se observa el descenso de la serviciabilidad con el número de aplicaciones. La serviciabilidad se puede reemplazar por la capacidad estructural.

-) Para pavimentos flexibles, SC es el número estructural SN
-) Para pavimentos rígidos, SC es el espesor del pavimento D
-) Para pavimentos compuestos, SC es un espesor equivalente

El pavimento tiene un SC_0 inicial que se deteriora y llega a un SC_{eff} después de N repeticiones.

Figura 14. Capacidad Estructural efectiva



Fuente: AASHTO, *Guide for Dising Of Pavement Structures*. (1993).

Se requiere proveer una capacidad estructural adicional SC_{OL} , provisto por el recapeo, la parte más complicada de diseñar un recapeo es el determinar la SC_{eff} , ya que en base a este valor se puede determinar el espesor del recapeo requerido por la vía.

Una de las metodologías aplicables para el diseño de recapeos es el uso de ensayos no destructivos (NDT) siendo la aplicación de estos diferentes para cada tipo de pavimento, entre ellos tenemos a los Pavimentos Flexibles, Pavimentos Rígidos.

Para los Pavimentos Flexibles:

Los NDT son usados para estimar el módulo resiliente de la base granular y proveer una estimación directa del valor S_{Neff} .

Para los Pavimentos Rígidos:

Los NDT se usan para examinar la eficiencia en la transferencia de carga en juntas y en las grietas, determinar los valores “K” de la subrasante y del concreto.

De manera simplificada, utilizando la ecuación de Boussinesq se puede decir:

$$dr = P (1 - \nu) / (r MR)$$

Donde:

dr = deflexión de la superficie a una distancia r de la carga

P = carga puntual

ν = módulo de Poisson

r = distancia a la carga

MR = módulo resiliente

Si se asume que $\nu = 0.5$, entonces

$$MR = (0.24 \times P) / (dr \times r)$$

De manera empírica, AASHTO recomienda corregir la ecuación anterior con un coeficiente C = 0.33 o menor para uso posterior en el método. Entonces la ecuación se reescribe como:

$$MR = C (0.24 \times P) / (dr \times r)$$

Para poder calcular el valor del módulo de la subrasante, es necesario colocar el quinto sensor lo suficientemente lejos como para que no afecte el HMA ni la base, pero tampoco no muy lejos como para que no se perciba deflexión alguna.

La siguiente ecuación se usa para determinar el “r” necesario

$$r = 0.7 \sqrt{a^2 + \left\{ D \sqrt[3]{\frac{E}{M_R}} \right\}^2}$$

Donde:

- a = radio del plato de carga
- D = espesor total encima de la subrasante
- Ep = modulo efectivo de todas las capas

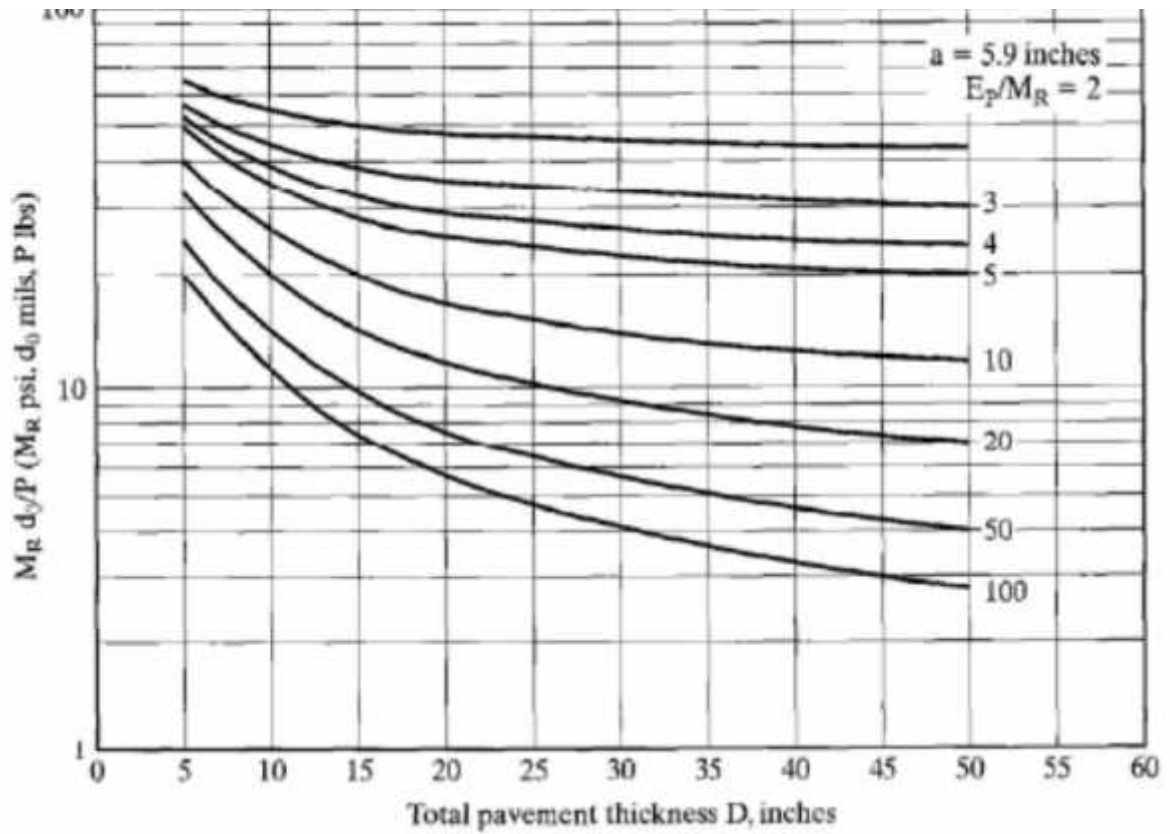
Ep se calcula con la siguiente ecuación:

$$\frac{M_R d_0}{q} = 1.5 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{D}{a} \right)^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right]^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{\left(\frac{E}{M_R} \right)} \right]$$

Donde d_0 = deflexión medida debajo del plato de cargas.

Si $a = 5.9$ pulgadas (15 cm), AASHTO provee una figura:

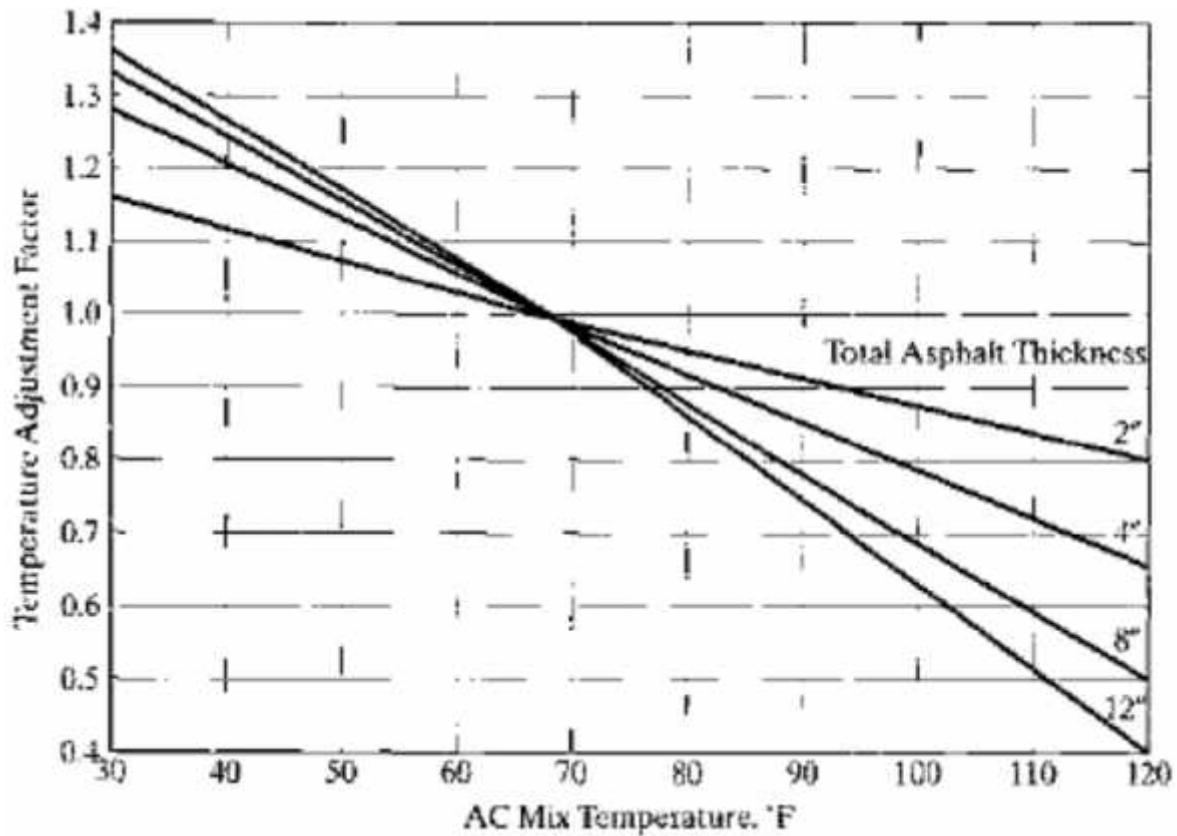
Figura 15. Grafico para poder determinar EP para $a = 5.9$ inches



Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Para poder determinar el factor de reajuste por temperatura para bases granulares o tratadas con asfalto, se usa el siguiente nomograma.

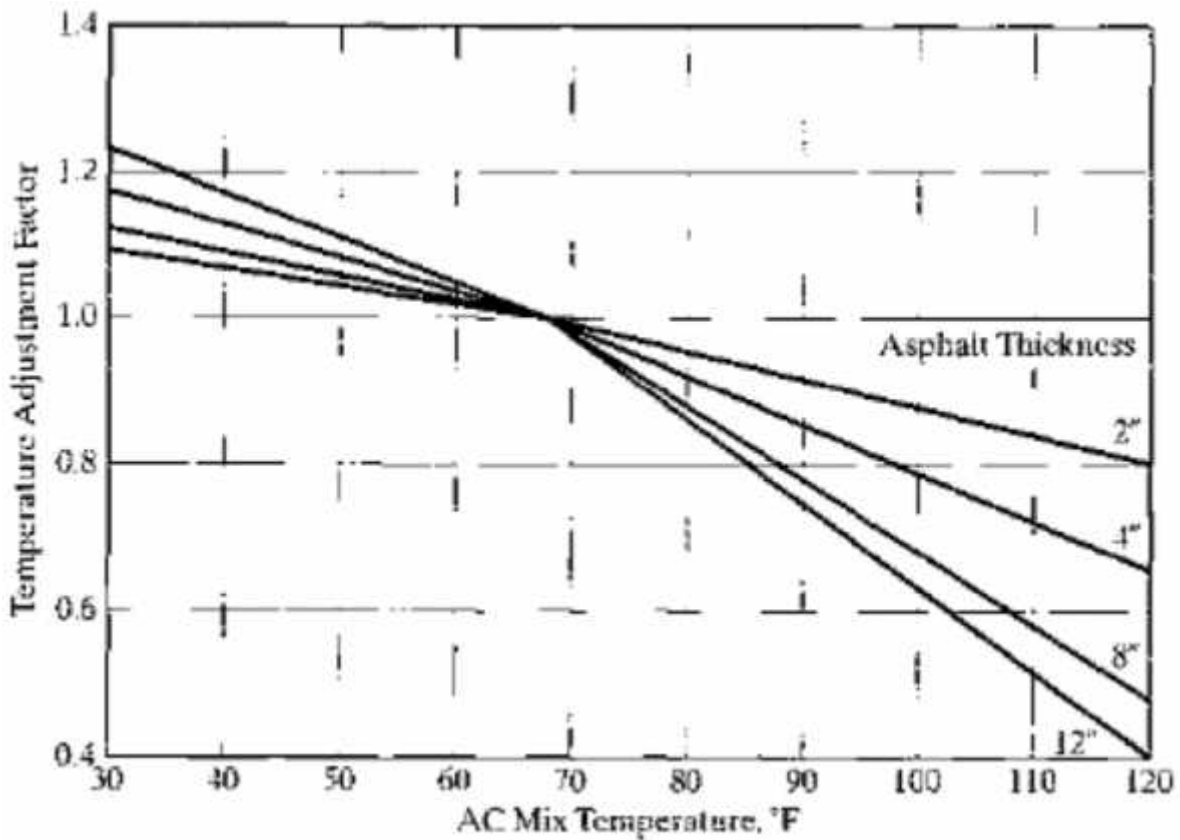
Figura 16. Nomograma para determinar el factor de reajuste en bases granulares o tratadas con asfalto



Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Para poder determinar el factor de reajuste por temperatura para bases tratadas con cemento o puzolanicos AASHTO nos provee el siguiente nomograma.

Figura 17. Nomograma para determinar el factor de reajuste por temperatura para bases tratadas con cemento o puzolanicos



Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Una vez que se determina el valor de E_p , se puede calcular el valor de S_{Neff} , por la siguiente ecuación:

$$S_{Neff} = 0.0045D\sqrt[3]{E}$$

La guía AASHTO provee de procedimientos paso a paso para cada uno de estos 7 casos de recapeo, incluyendo pasos para:

-) Reparaciones del recapeo
-) Control de reflexión de grietas
-) Subdrenaje
-) Diseño de espesores

2.2.7. EVALUACION ESTRUCTURAL BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES

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 (un nuevo tipo de avión en un aeropuerto existente, por ejemplo)³⁵.

Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el Ingeniero Vial tradicionalmente ha recurrido a la perforación 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 sistema (pavimento) y deducir acerca

³⁵ Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*.

de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es "destruktiva".

La metodología no destructiva se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierran una valiosa información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante. Para interpretar esta información en forma cuantitativa, se compara al pavimento-subrasante reales con un modelo matemático utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema³⁶.

Una vez determinados, estos parámetros estructurales, puede usarse como insumo para establecer las necesidades de refuerzo. Podría decirse entonces que la metodología de evaluación estructural, por métodos no destructivos, es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño. Otra característica de la metodología de evaluación no destructiva, es que por constituir la "muestra de ensayo" el pavimento mismo, esta representa el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas de materiales y subrasante), y además está "muestra" puede ser ensayada en cualquier momento de su vida sin disturbarla ni destruirla.

Modelos matemáticos para pavimentos

Un aspecto gravitante en las metodologías de evaluación de pavimentos es el concerniente a los modelos teóricos usados para representar a la estructura real y su funcionamiento. De cuan adecuados sean éstos para reproducir, en forma satisfactoria, la compleja realidad de un pavimento y de la posibilidad de representarlos matemáticamente, a fin de implementar soluciones que brinden resultados de uso directo, depende el potencial de posibilidades prácticas que

³⁶ Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*.

puede brindar una metodología.

Los intentos de representar, mediante modelos teóricos, sistemas de pavimentos flexibles datan de no hace más de 50 años, cuando Burmister desarrolla su teoría para modelos de capas elásticas basándose en los conceptos desarrollados por Boussinesq en 1885.

Desde entonces, y con el advenimiento y uso de las computadoras, un avance sustancial se ha producido en los últimos años, habiéndose desarrollado una variedad de alternativas que van desde esquemas de capas elásticas lineales y no lineales, hasta modelos viscoelásticos ó dinámicos, diseñados en un constante afán de lograr simulaciones cada vez más compatibles con la realidad³⁷.

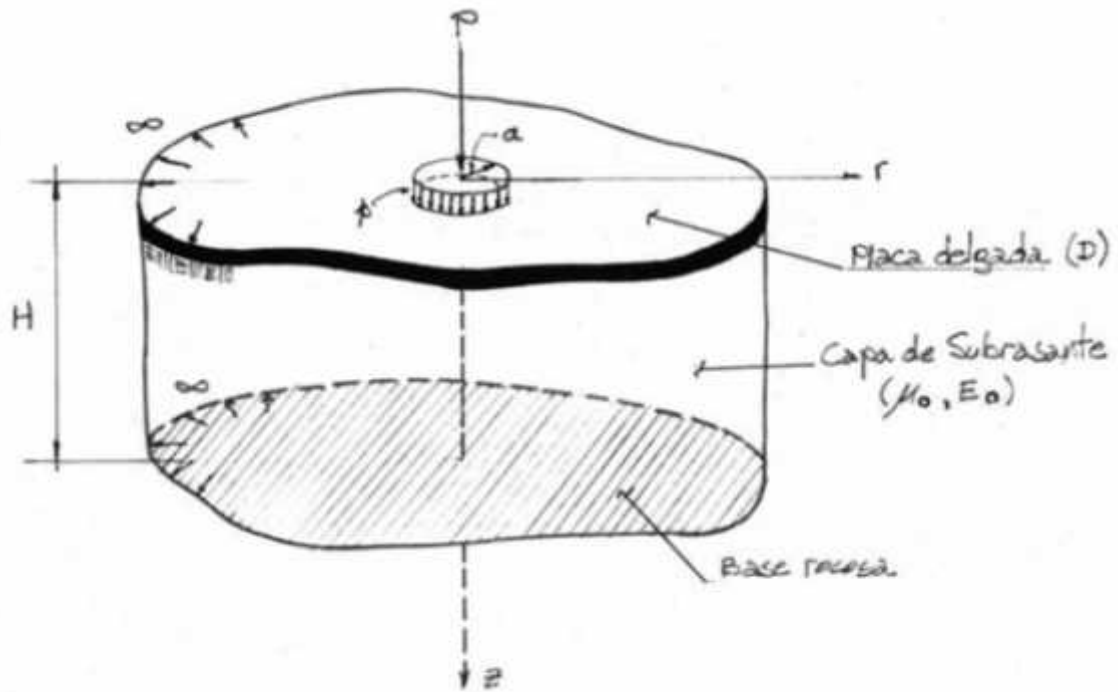
Tales refinamientos permiten acercamientos teóricos para el análisis cualitativo de los fenómenos involucrados en el complejo comportamiento de un pavimento, pero para efectos de evaluación estructural, donde priman resultados tangibles, su uso práctico a nivel de Ingeniero de Campo, es totalmente limitado.

El Modelo de Hogg

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.

³⁷ Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones.*

Figura 18. Geometría del modelo de Hogg



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

Tabla 10. Parámetros del Modelo de Hogg

PARAMETROS BASICOS DEL MODELO	$D = \frac{E_1 t^3}{12 (1 - \mu_1^2)} (t - m)$	Rigidez a la Flexión de la Placa
	$L_0 = \left(\frac{D(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)^{\frac{1}{3}}}{2(1 - \mu_0)E_\phi} \right) (c)$	Longitud Característica
	$E_\phi (K / c^2)$	Módulo de elasticidad de la subrasante
	$\mu_0 (A\epsilon)$	Módulo de Poisson de la Subrasante
	$H (C)$	Profundidad del estrato rocoso
Parámetros de evaluación	$L_0; E_\phi; D$	Se obtienen conociendo – Dos valores de deflexiones medidas.

Fuente: Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones

Deflexiones en el Modelo de Hogg

La expresión matemática desarrollada para el cálculo de las deformaciones en la superficie del sistema viene dada por una integral infinita de funciones Bessel y funciones angulares hiperbólicas, la cual, para el caso de una carga uniformemente distribuida circular de radio "a" tiene la siguiente forma³⁸:

$$\Delta_{(z=0,r)} = \left(\frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_c) * p * a}{2(1 - \mu_0) * E_0} \right) \int_0^{\infty} \frac{J_0\left(\frac{m * r}{L_0}\right) * J_1\left(\frac{m * a}{L_0}\right)}{m^4 + m * \phi \frac{m * h}{L_0}} d$$

Donde μ_0 , E_0 , p , l_0 , están definidos en la figura 2.1, "r", es la distancia horizontal en la superficie de la placa desde el eje de carga y " " viene dada por la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\sinh m \times \cosh m + \frac{m}{3 - 4\mu_0}}{\sinh^2 m - \frac{m^2}{(3 - 4\mu_0)^2}}$$

Siendo "m" la variable de integración.

Hoffman en 1977 presentó la solución computarizada para la ecuación (2.1), lo que posibilitó la confección de nomogramas y tablas para el cálculo de deformaciones teóricas, en cualquier punto de la superficie del sistema.

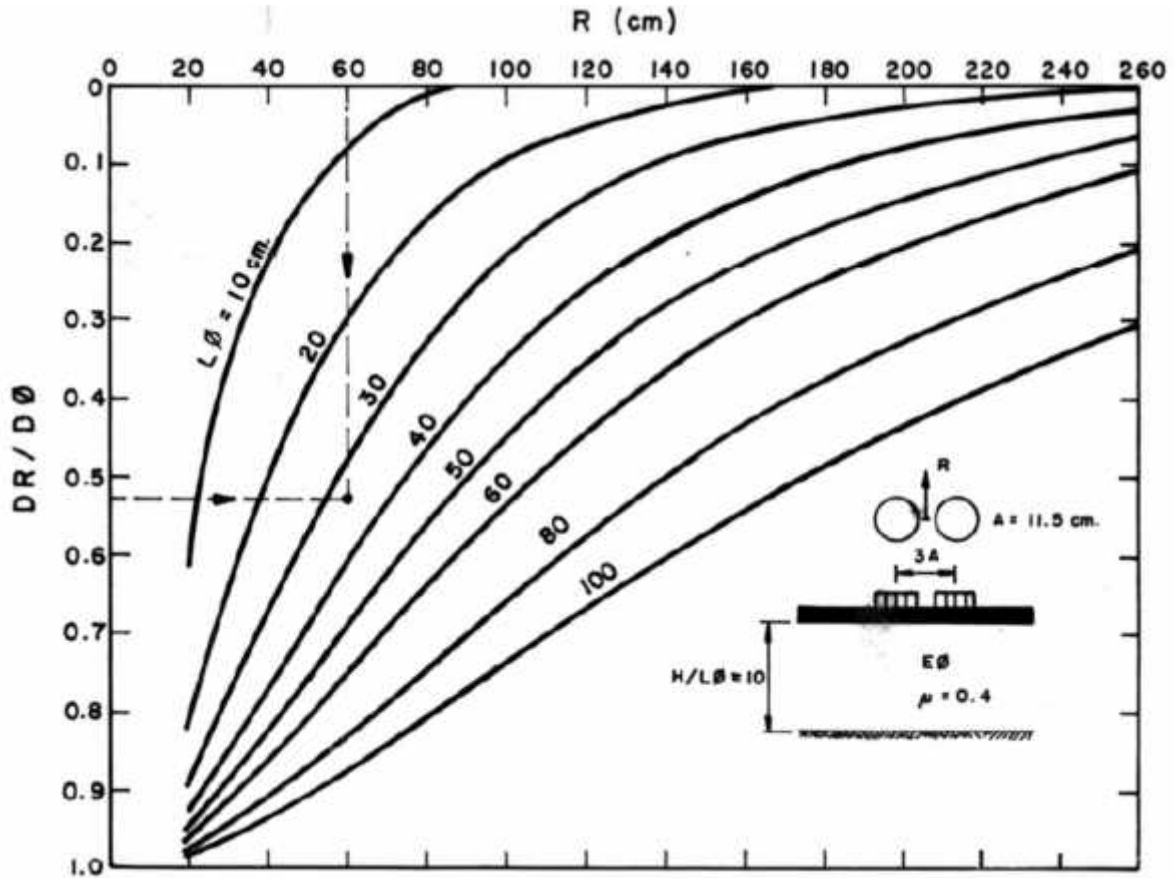
Características y Utilización del Modelo

Para hacer uso del modelo de Hogg no se necesita conocer el espesor de las capas del pavimento, ya que las curvas de deflexiones de superficie teóricas,

³⁸ Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones.*

diseñadas mediante la ecuación, dependen solamente de la longitud elástica L_0 (ver figura 19), lo que constituye una ventaja toda vez que, la experiencia demuestra, en la gran mayoría de los pavimentos evaluados, ó se desconoce el espesor o es difícil controlar su variación.

Figura 19. Curvas de Deflexiones en el Modelo de Hogg para la configuración de carga de la viga Benkelman



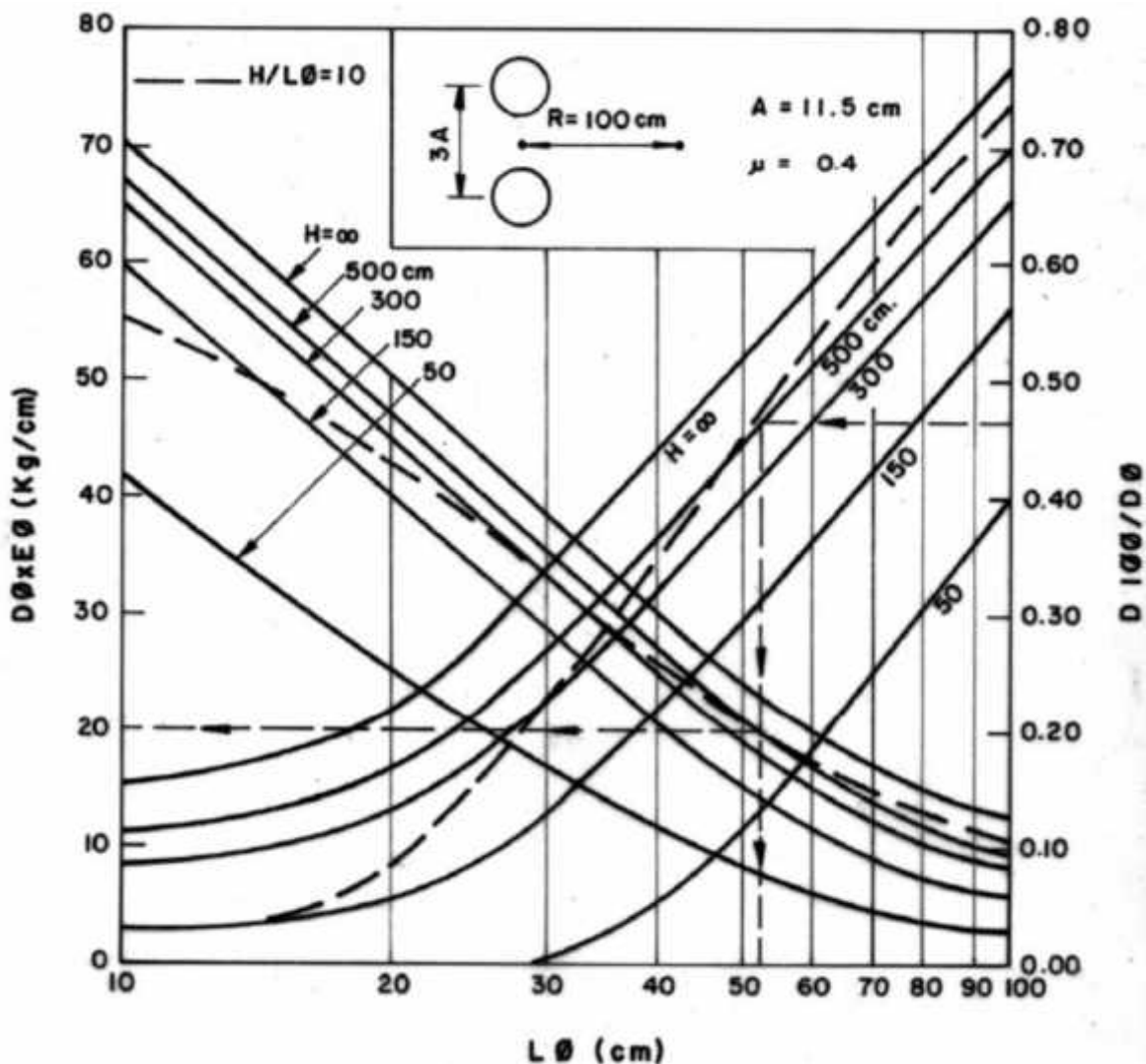
Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

En el modelo se introduce, mediante la variable h una capa rígida a una profundidad finita. En el procedimiento de evaluación ésta representa a una capa rocosa existente o funciona como un factor de ajuste que limita la extensión horizontal de las curvas de deflexiones teóricas, que de otra manera serían infinitas, lo que se contradice con las curvas experimentales. Por otro lado, la extensión finita de las curvas de deflexiones medidas puede obedecer a una conducta no-lineal de

los materiales del pavimento y subrasante y no implica necesariamente que realmente exista una capa rígida³⁹.

Para la utilización del modelo se sugiere la introducción de una capa rígida a una profundidad igual a 10 veces la Longitud Elástica del pavimento ($h = L_0$).

Figura 20. Nomograma para Evaluación Estructural basado en el modelo de Hogg



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

³⁹ Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

Las curvas y nomogramas, como los presentados en las figuras 19 y 10, constituyen la implementación práctica del modelo para la evaluación estructural de pavimentos.

La figura 19 muestra las curvas de deflexiones adimensionales (DR/D_0) obtenidas con el modelo de Hogg para una carga que simula la llanta doble utilizada con la Viga Benkelman.

La figura 20 muestra un nomograma preparado en base a las soluciones rigurosas del modelo de Hogg, para determinar el Módulo de Elasticidad de la subrasante (E_0). Este nomograma es para deflexiones medidas con la Viga Benkelman, para una carga de eje de 18 kilo libras, una huella circular de llanta de 11.5 cm, para $R=100$ cm, y para distintos espesores "h" de la profundidad de la capa rocosa. Para facilitar el uso de las soluciones nomográficas, en la interpretación de curvas de deflexiones, se han desarrollado programas de computadoras de fácil acceso y que pueden implementarse en microcomputadoras o computadoras personales que pueden utilizarse en el campo.

Medición de Deflexiones

Los ensayos de medida de la deflexión con equipos han sufrido con el tiempo transformaciones, haciéndose más sofisticado. Versiones automáticas de la Viga Benkelman se construyeron en los años 60, el deflectómetro móvil de California y el Deflectógrafo Lacroix francés [Kennedy et al. 1978] fueron los representantes de esta generación de equipos de medida de la deflexión.

A mediados los años 70 la demanda de equipos más rápidos y efectivos que se necesitan para los sistemas de gestión originó el desarrollo de equipos vibratorios en régimen permanente, tales como el Dynaflect y el Road Rater [Smith and Lytton 1985]. A finales de los años 80 los deflectómetros de impacto [Falling Weight Deflectometer, FWD] fueron ganando popularidad y difusión e

incrementando la aceptación de los investigadores y profesionales debido a su mejor representación de la carga del tráfico respecto a sus antecesores, convirtiéndose en el equipo de referencia para la mayoría de las administraciones de carreteras europeas y americanas.

Después de realizar el diagnóstico sobre el estado de cada tramo homogéneo y el nivel de sus deterioros, se analizan las soluciones de rehabilitación posibles y se proyecta la más apropiada en cada caso. El proyecto de la solución de rehabilitación se individualizará para cada uno de los tramos homogéneos que se hayan determinado, basados en los resultados de la inspección visual y en el estudio de las deflexiones.

La Viga Benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) 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 extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). 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 lecturas⁴⁰.

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.

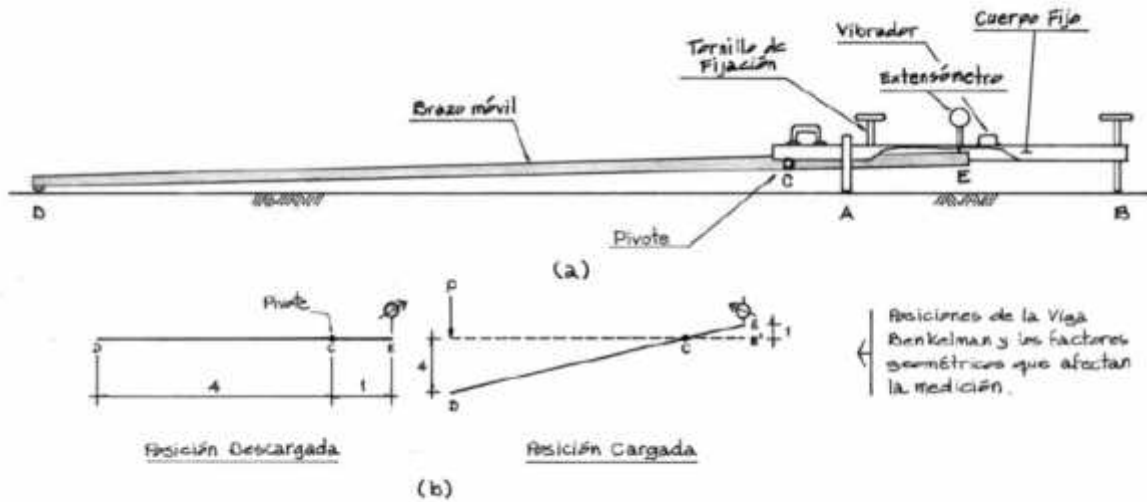
⁴⁰ Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*

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 extensómetro 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 extensómetro. La operación expuesta 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 cuánto deflectó el 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 extensómetro (EE') no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes.

Figura 21. Esquema y Principio de operación viga Benkelman



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*

Para el proyecto de refuerzo de un pavimento se deben manejar una serie de factores entre los que pueden citarse⁴¹:

-)] Tipo de pavimento existente o mediante el conocimiento de su historia constructiva.
-)] Análisis del tráfico pesado actual y el esperado durante el período de proyecto.
-)] Características de la subrasante y condiciones de funcionamiento de los sistemas de drenaje.
-)] Evaluación del estado de la superficie para poder definir la conveniencia de otras soluciones, como reparaciones aisladas, mejora del perfil, fresado de la capa de rodadura, etc.
-)] Evaluación estructural.
-)] Características de los materiales disponibles, así como las técnicas de ejecución que se disponen.

⁴¹ María Álvarez Quintero "Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras"

- J) Análisis de la necesidad de regularización del perfil previo a la ejecución del refuerzo.
- J) Análisis de la necesidad de ampliación de la sección transversal de la vía, con el objetivo de llevar a cabo estas operaciones simultáneamente.
- J) Características de los paseos, analizando la necesidad de su rehabilitación estructural.
- J) Necesidades de mantener la circulación durante la ejecución de los trabajos.

Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el Siguiete⁴²:

- a) Deflectómetro Viga Benkelman, tal como el modelo Soiltest HT-350 (con relación de brazos 1:2).
- b) Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm (Modelo 16 Soiltest HT-300M).
- c) Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- d) Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (Camioneta).
- e) Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.

⁴² Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones*

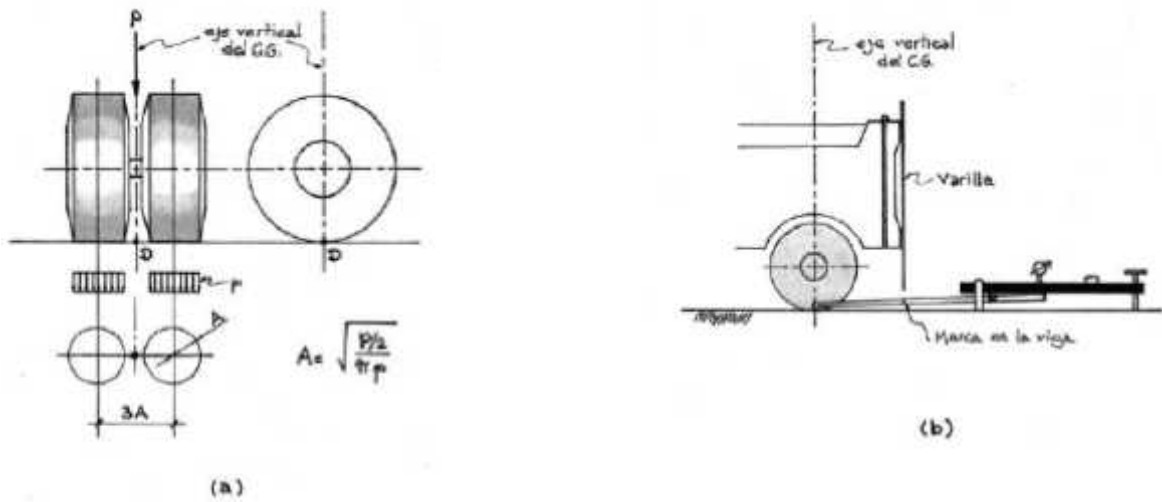
2.2.8. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO CON VIGA BENKELMAN

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que 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 la mitad 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.

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad.

Figura 22. Configuración Geométrica del sistema de carga en Ensayos con la viga Benkelman



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*

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.

Como norma 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 tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro 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 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, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Figura 23. Modelo de hoja de campo para reconexión de Deflexiones

PROYECTO: _____
 TIPO DE PAVIMENTO: _____
 CARGA DE EJE: _____
 PRESION DE INFLADO: _____
 FECHA: _____
 REALIZADO POR: _____

Hoja de Campo para recopilación de deflexiones.

ESTACION	LECTURAS DE DEFLECTOMETRO				DEFLEXIONES (mm)			OBSERVACIONES
	RS+0	RS+1	RS+2	RS+3	DR	DR1	DR2	
								<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); border: 1px dashed black; width: 80%; height: 80%;"></div> </div>

Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores:

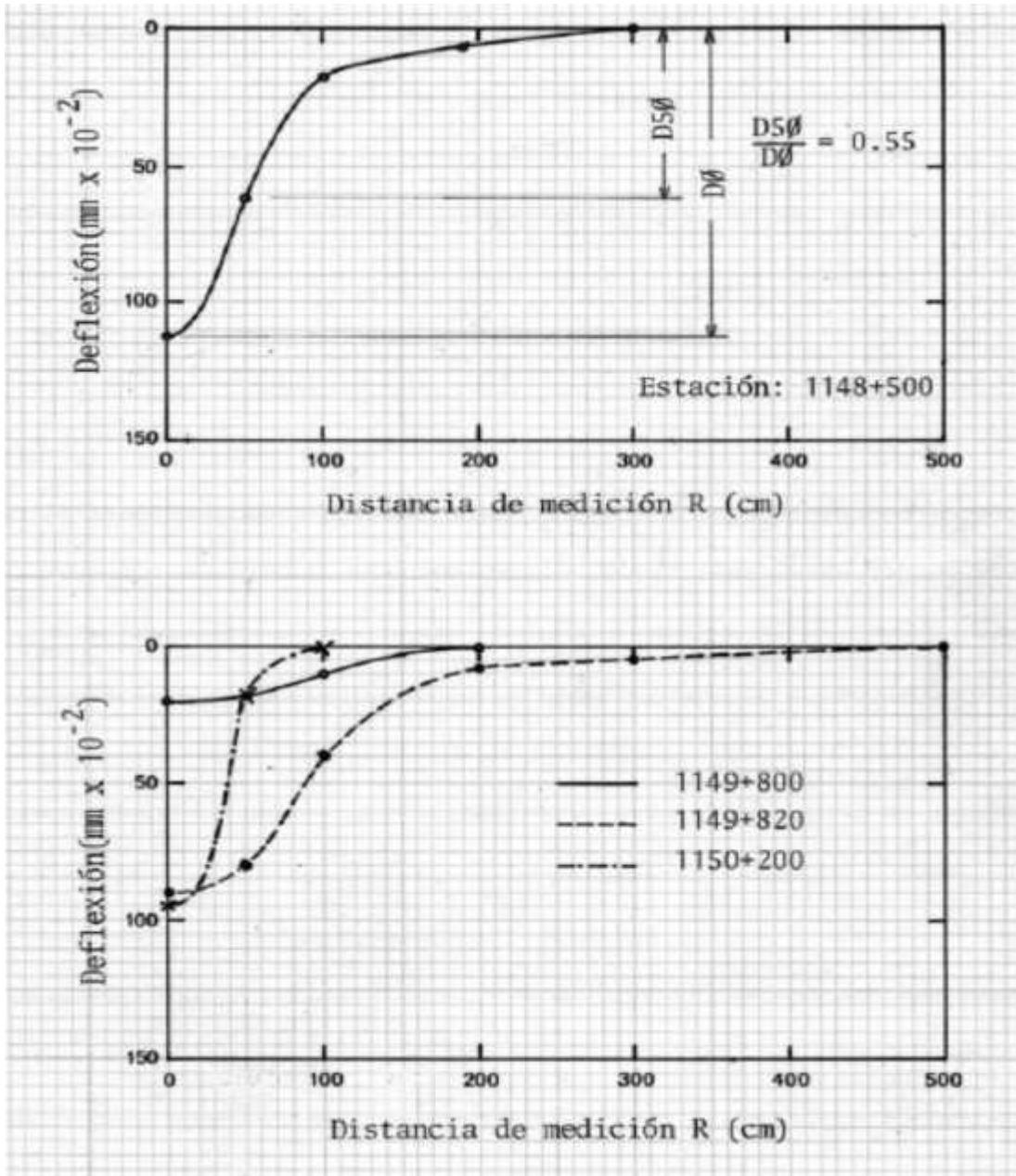
Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.). La figura 23 muestra un formato adecuado para la recopilación de los datos de campo⁴³.

Cálculo de las deflexiones

Una vez tomados los datos de campo, el cálculo de las deflexiones para cada estación consiste en sustraer la lectura final (punto de referencia de deflexión cero) a cada una de las otras, representando las respectivas diferencias la deformación en dichos puntos, las cuales en conjunto definen la curva de deflexión de superficie del pavimento.

⁴³ Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*

Figura 24. Curvas de deflexiones típicas de ensayos con la viga Benkelman



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones

Modelo de carga

La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de los 18,000 libras y la presión de inflado es de 75 a 85 psi. En el modelo de carga figura.22 se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, que hay una distancia de "3A" entre los centros de cada llanta, Por equilibrio se establece la siguiente relación⁴⁴:

$$A = \sqrt{\frac{P}{\pi}}$$

Donde:

A = Radio de la huella circular de contacto

P = Carga sobre una llanta

p = Presión de inflado

De esta manera, si la carga del eje es de 18,000 libras (4,500 libras por llanta) y la presión de inflado es de 80 psi:

$$A = \sqrt{\frac{4500}{\pi(80)}} = 4.13 = 10.7c$$

El análisis y el programa de computadora aceptan cualquier valor de carga y presión de inflado.

⁴⁴ Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones*

Parámetros de Evaluación

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. Los insumos para el procesamiento de los datos se dividen en cuatro (4) categorías:

- a) Datos de carga (P y p)
- b) Deflexiones medidas (D_0 , D_R y R)
- c) Datos de pavimento (Espesores y características de las capas)
- d) Parámetros del modelo (H/L_0 y μ)

La metodología por su parte, produce los siguientes datos de salida: L_0 , E_0 , y E^* . Obviamente, los datos de salida dependen de los datos de entrada. La carga de ensayo es generalmente un dato fijo para cada proyecto y salvo circunstancias especiales debe estar en el rango recomendado de $P= 18$ kilo libras y $p= 75-85$ psi.

Las deflexiones medidas son el resultado de los ensayos y varían seguramente de proyecto a proyecto y entre diferentes puntos de un mismo proyecto debido a la heterogeneidad del pavimento y su subrasante y a errores inevitables de medición. La selección de una o más distancias " R " depende del criterio del Ingeniero, aunque es común y práctico medir, como mínimo, D_0 , D_{25} , D_{50} , D_{90} , D_{120} a distancias de 0, 25, 50, 90 y 120 cm. del eje de la carga.

Los espesores y características de las capas del pavimento no siempre se conocen, a menos que existan datos históricos de construcción y/o diseño o se perforen calicatas. Esta información es necesaria para determinar " HC ", cuyo valor influye en " E^* " pero no influye en los valores de " L_0 " y " E_0 ", siendo esta una característica importante del modelo de Hogg. El significado de los parámetros del modelo se discute a continuación.

Significado de L0

La longitud característica (L0) del pavimento es, por definición, un parámetro que refleja la rigidez relativa entre un pavimento y su subrasante. Por tratarse de una relación de rigideces, el valor de L0 permite una rápida evaluación cualitativa del sistema pavimento-subrasante.

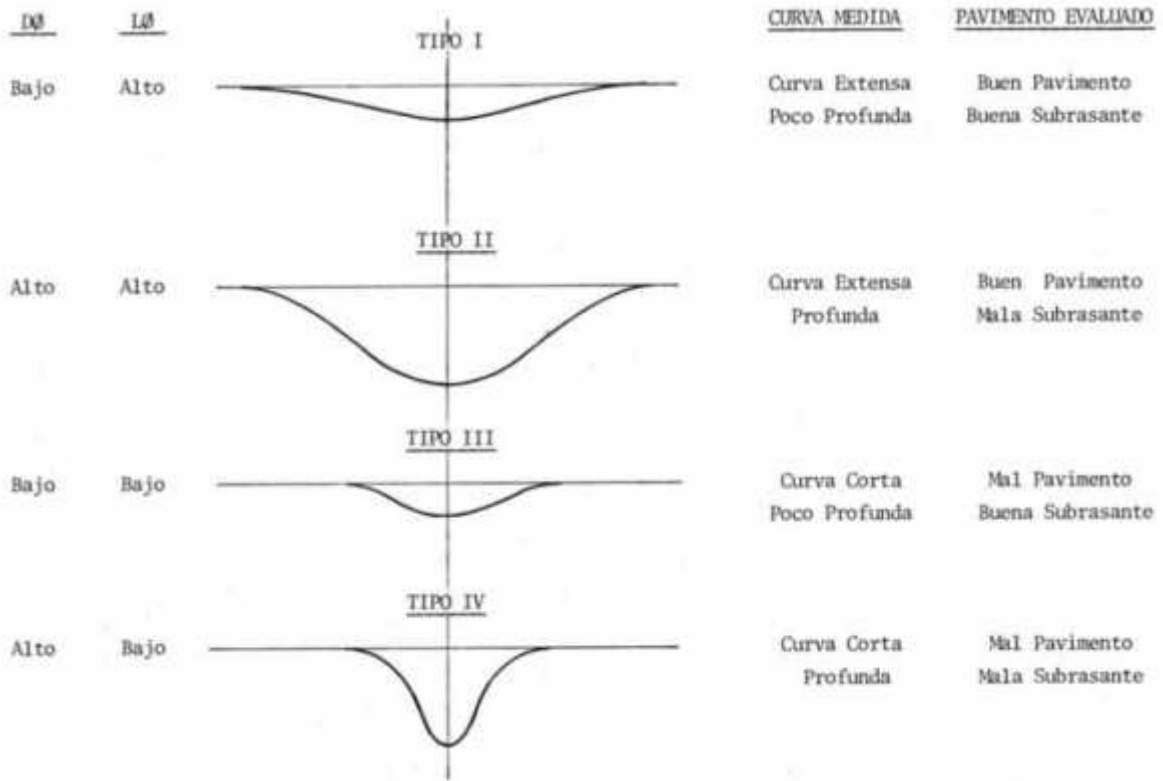
En un extremo de la escala puede pensarse en un pavimento rígido (losa de concreto) sobre una subrasante débil con un L0 del orden de los 80 cms. En el otro extremo se encuentra un pavimento compuesto de una capa granular sin revestimiento sobre una subrasante fuerte y un L0 del orden de los 15 cms. No hay que olvidar que se trata de una relación de rigideces de manera que un valor bajo de L0 puede corresponder tanto al caso de un buen pavimento sobre una buena subrasante como el caso de un mal pavimento sobre una débil subrasante.

La determinación de L0 en el proceso de evaluación depende solamente del cociente $DR/D0$ y del valor R. Es decir que dos pavimentos cualesquiera con igual cociente $DR/D0$ a una misma distancia R dada, tienen el mismo L0, aunque DR y D0 sean diferentes. Los valores específicos de D0 y DR influyen en los módulos $E0$ y E^* según se explica más adelante.

Significado de E0 y su relación con el CBR

El parámetro $E0$ representa el módulo de elasticidad de la masa de subsuelo que participa en la deformación del sistema pavimento-subrasante. En la ecuación (2.7) puede verse que $E0$ es inversamente proporcional a D0 y a L0, es decir que $E0$ es menor cuanto mayor es la deflexión y la longitud característica del pavimento para una relación de rigideces $S0/S$ dada, y viceversa. El primer paso corresponde a un pavimento que tiene una curva de deflexiones profunda y extensa y, en general, puede establecerse las relaciones cualitativas entre las características de la curva de deflexiones y el sistema, que se ilustran en la figura 25.

Figura 25. Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de Deflexiones



Fuente: Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos Basados en la interpretación de curvas de Deflexiones*

A pesar que el módulo E₀ es un parámetro mecánico fundamental del subsuelo, se ha establecido, además, una relación entre este valor y el valor del CBR de la subrasante, para facilitar el diseño del refuerzo requerido o para chequear diseños usando métodos tradicionales. Esta relación ha sido establecida experimentalmente, comparando los valores de E₀ obtenidos de la metodología de evaluación estructural, usando deflexiones medidas con la Viga Benkelman y valores de CBR obtenidos en sitio.

De numerosas comparaciones de este tipo se ha podido establecer la siguiente relación:

$$E_0 = (100 \text{ a } 160) \times \text{CBR}$$

Para E₀ expresado en Kg/cm² y CBR en porcentaje.

Resulta interesante notar que esta relación es similar a la obtenida por Heukelom y Klomp, durante ensayos de propagación y análisis de ondas vibratorias realizadas en Holanda para determinar lo que denominaron el "E dinámico" de los suelos. El coeficiente numérico (100 a 160) de la relación (2.10) se denomina "factor de CBR" y se recomienda utilizar un factor de 100 a 110 para ensayos rutinarios a menos que exista alguna razón que justifique su cambio.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- J Pavimentos: Capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que esté firme y llano.
- J Trafico: Está basado en las cargas esperadas y acumulativas de un eje equivalente 18,000 lbs. Durante el periodo de análisis.
- J ESAL: Repeticiones del eje de carga equivalente.
- J Deflexiones: Deformación producida por desplazamiento en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas del orden de centésimas o milésimas de milímetro.
- J Capacidad estructural (SN): Número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento.
- J Módulo Resiliente: Es calculado por el ensayo T274 de la AASHTO, que viene a ser un método muy difícil de realizar en muchos lugares porque no se cuenta con los equipos necesarios, por lo tanto, existen relaciones que pueden calcular dicho modulo aproximadamente tomando como parámetro principal el CBR.
- J Recapeo: Es la Sobrecarpeta que se construye sobre la superficie de rodadura del pavimento, existe distintas variedades y se aplicación es muy útil ya que mejora la capacidad estructural del pavimento.

CAPÍTULO III:

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Confiabilidad

El Grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes. Es decir, en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales.

El instrumento utilizado para la recolección de los datos de la muestra es el formato del MTC, fue utilizado para calcular el volumen vehicular actual de la AV. Coronel Parra los intervalos de tiempo para que el conteo sea más exacto fue en intervalos de 15 minutos.

El otro instrumento que se necesitó para poder recolectar los datos de la muestra que en la investigación fue un sector de la AV. Coronel Parra del KM 00+000 hasta KM 03+000 fue la viga benkelman que proporciono los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.

Validación

Grado en el que un instrumento que en verdad mide la variable que se busca medir.

Una de las variables a medir es el deterioro estructural, para ello se utilizó la viga benkelman cuyo mediante las lecturaciones se obtuvo las deflexiones necesarias para poder determinar haciendo uso del retrocálculo el MR y Sneff que son necesarios para determinar el espesor del recapeo.

La valides del instrumento en este caso el formato del MTC se encuentra dentro de los valores aceptables y requeridos ya que su uso está dentro de lo normativo y recomendable por el ministerio de transportes y comunicaciones para poder realizar de manera confiable y valida el estudio de tránsito.

3.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

3.2.1. ESTUDIO DE TRAFICO

Características y Metodología del Trabajo de campo

Dentro de los parámetros para realizar el proyecto de investigación es necesaria la cuantificación de tráfico vehicular, se requerirá el valor actual del volumen total de tráfico en términos de ejes equivalentes el estudio de tráfico consistió en la clasificación vehicular y conteo en una estación.

El conteo de tránsito se realizó en el paradero 5 de la A.V Coronel Parra distrito de Pilcomayo Provincia de Huancayo Departamento de Junín con él que se calculó el volumen actual del tránsito, siendo necesario para la posterior evaluación estructural y determinación del refuerzo estructural.

Para planificar el estudio se realizó visitas a la zona, para determinar el área de influencia, los puntos de control de tránsito, el flujo vehicular clasificado.

La metodología del trabajo de campo desarrollada en el presente estudio, se basó en las observaciones realizadas en la zona de estudio y las recomendaciones del “Manual para Estudio de Tráfico”, dichos trabajos consistieron en conteos de tránsito motorizado.

Localización

Figura 26. Localización de la Estación de conteo



Fuente: Google Earth Maps

Características Generales del conteo

Las características básicas de los conteos vehiculares fueron los siguientes:

-) Los conteos fueron realizados durante 3 días seguidos en una estación, tomando como días representativos laborables los días viernes y sábado, domingo.
-) Los conteos se realizaron durante 24 horas, con el objetivo de identificar lo más claramente posible, el comportamiento del flujo vehicular durante el día y la noche.
-) Las horas de conteo fueron desde las 06:00 am hasta 06:00 a.m. del día siguiente, en dos turnos: de día y de noche cada uno con 12 horas respectivamente.
-) La clasificación vehicular utilizada fue la siguiente: Vehículos Ligeros, Ómnibus (B2), Camión (C2 y C3), Semi Trayer y Trayer.

3.2.2. METODOLOGÍA DEL CONTEO

El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que el tránsito viene a ser el desplazamiento de vehículos y/o personas de un punto llamado origen y otro destino.

Por tanto, para la elaboración del estudio de tráfico es necesario contar con la información de campo, que nos va a permitir efectuar los trabajos de gabinete para luego llevar a cabo el análisis de los resultados obtenidos, es así que como requisito mínimo para la elaboración del estudio es necesario contar con las siguientes etapas como mínimo:

-) Recopilación de la información en campo (tráfico).
-) Procesamiento y cálculo de datos tomados en campo.
-) Análisis de los resultados obtenidos.

Recopilación de la Información en Campo (tráfico)

La información básica para la elaboración del estudio procede de dos fuentes diferentes: referenciales y directas.

Fuentes referenciales: Existentes a nivel oficial, son las referidas respecto a la información del IMD y Factores de Corrección, existentes en los documentos oficiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Unidades de peaje más cercana al área de estudio).

Fuentes Directas: Recopilación de la información en campo a través de conteos vehiculares. Estas labores exigieron una etapa previa de trabajo en gabinete, además del reconocimiento del área involucrados en el proyecto, para identificar la estación de control vehicular y finalmente realizar el aforo vehicular programado.

Estación de conteo vehicular

Durante el conteo vehicular se llegó a la conclusión que debido a que en todo el tramo en estudio la demanda no es homogénea ha sido necesaria la ubicación de una estación de control, llevándose a cabo por un equipo con experiencia en encuestas de tráfico. En las estaciones de conteo establecidas se ubicó a los encuestadores uno para el turno del día y otro para el turno de la noche, previa capacitación para los trabajos a realizar, a fin de obtener resultados óptimos.

El conteo volumétrico (aforo vehicular) se realizó durante 03 días, durante las 24 horas y dos turnos rotativos de 12 horas cada uno.

Para el desarrollo del conteo, que permitan conocer el volumen de tránsito que soportará las vías, así como su composición, se procedió a ubicar la estación de control, siendo esta la siguiente:

Estación de Control “E-01”:

Ubicado en el denominado Paradero 5 los datos de Pilcomayo – Chupaca y viceversa.

ESTACIÓN DE CONTROL DE CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla 11. Tabla de la Estación de conteo

N°	ESTACION	UBICACION	SENTIDO	N° DIAS	INICIO	TERMINO	HORARIO
01	E-01	PARADERO 5 PILCOMAYO	Este - Oeste	03	07/10/1 6	10/10/16	6:00-6:00

Fuente: Elaboración Propia

PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos en el conteo vehicular fueron validados y procesados en formato Excel, clasificando el volumen de tráfico por tipo de vehículo, variación horaria y sentido.

El IMD se determinó mediante la siguiente fórmula

$$IMD_A = FC \times IMD_S$$

Donde:

IMD_S = Volumen clasificado promedio de la semana

FC = Factor de corrección estacional

IMD = Índice medio diario anual

3.2.3. INDICE MEDIO DIARIO SEGÚN CLASE VEHICULAR

Los resultados obtenidos en el conteo indican un mayor volumen vehicular en el sentido Pilcomayo – Chupaca con 4711 vehículos por día a diferencia del otro sentido que cuenta con 5075 vehículos por día. La distribución vehicular entre tránsito ligero y tránsito pesado es notoria los vehículos ligeros tales como:

-) Auto
-) Station Wagon
-) Pick up
-) Panel
-) Micro

Les corresponde un factor de corrección estacional de 0.9347, y a los denominados vehículos pesados un factor de 0.8806.

-) Camiones
-) Semitrayer
-) Trayer

Tabla 12. Volumen Vehicular clasificado

VEHICULO	IMD	FC	IMDA	DISTRIBUCION
AUTO	3455	0.93	3230	35.41%
STATION WAGON	1024	0.93	957	10.49%
PICK UP	568	0.93	531	5.82%
PANEL	75	0.93	70	0.77%
C.RURAL	3895	0.93	3641	39.92%
MICRO	270	0.93	252	2.77%
BUS 2E	39	0.88	34	0.38%
BUS 3E	51	0.88	45	0.49%
Camión 2E	279	0.88	246	2.69%
Camión 3E	57	0.88	50	0.55%
Camión 4E	16	0.88	14	0.15%
Semitrayer 2S1/2S2	0	0.88	0	0.00%
Semitrayer 2S3	1	0.88	1	0.01%
Semitrayer 3S1/3S2	1	0.88	1	0.01%
Semitrayer >=3S3	48	0.88	42	0.46%
Trayer 2T2	1	0.88	1	0.01%
Trayer 2T3	3	0.88	3	0.03%
Trayer 3T2	1	0.88	1	0.01%
Trayer 3T3	2	0.88	2	0.02%
TOTAL			9121	100.00%

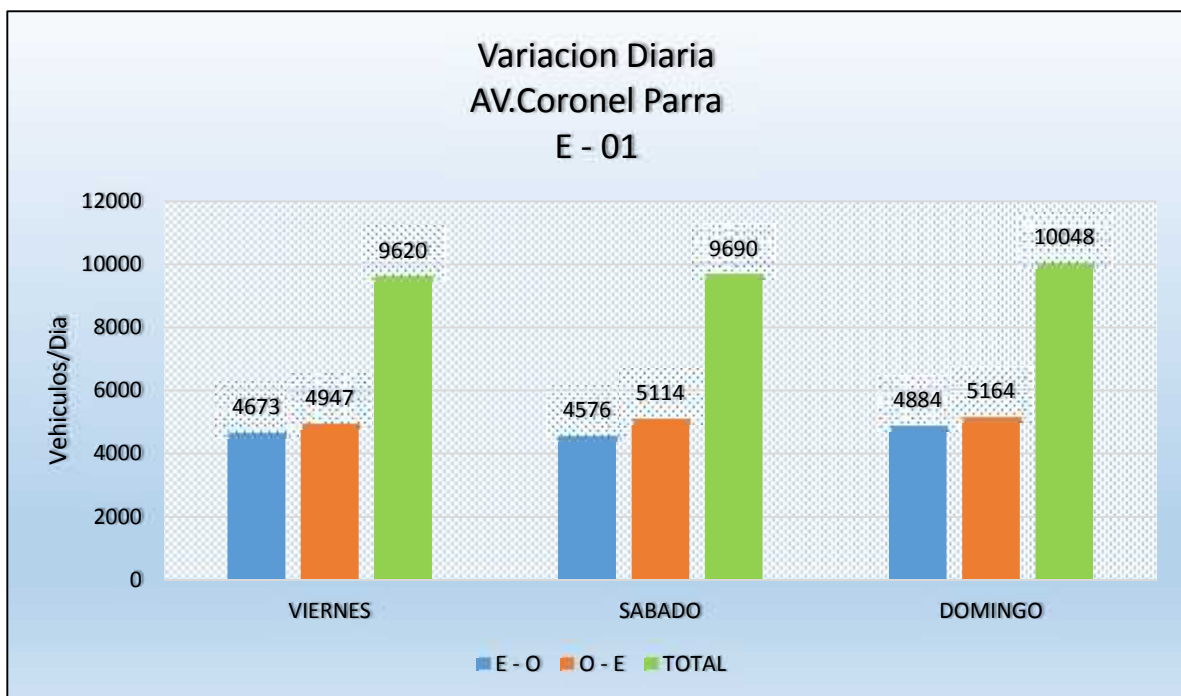
Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. VARIACION HORARIA Y DIARIA

Día Pico

Es aquel día donde en volumen de tránsito es mayor durante los días de conteo.

Figura 27. Variación diaria Vehicular por días

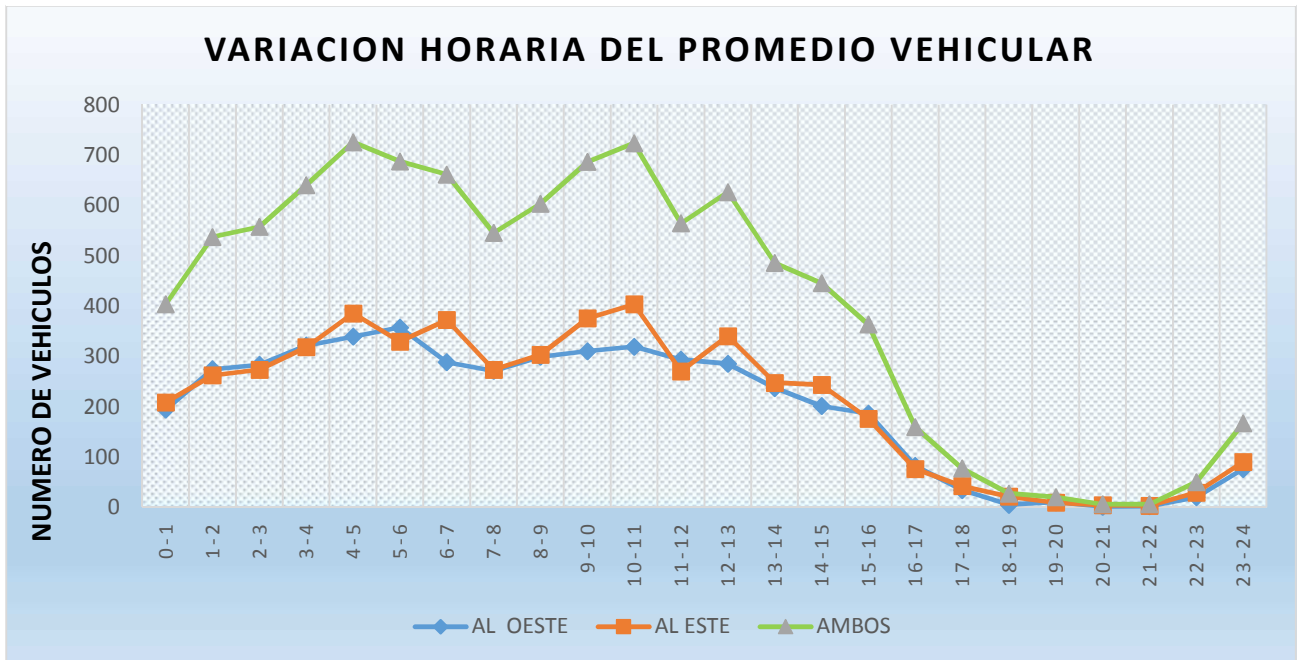


Fuente: Elaboración Propia

Hora Pico

La hora pico es aquella que registra el mayor volumen de tránsito durante 24 horas del día.

Figura 28. Variación Horaria del promedio Vehicular



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5. COMPOSICIÓN VEHICULAR

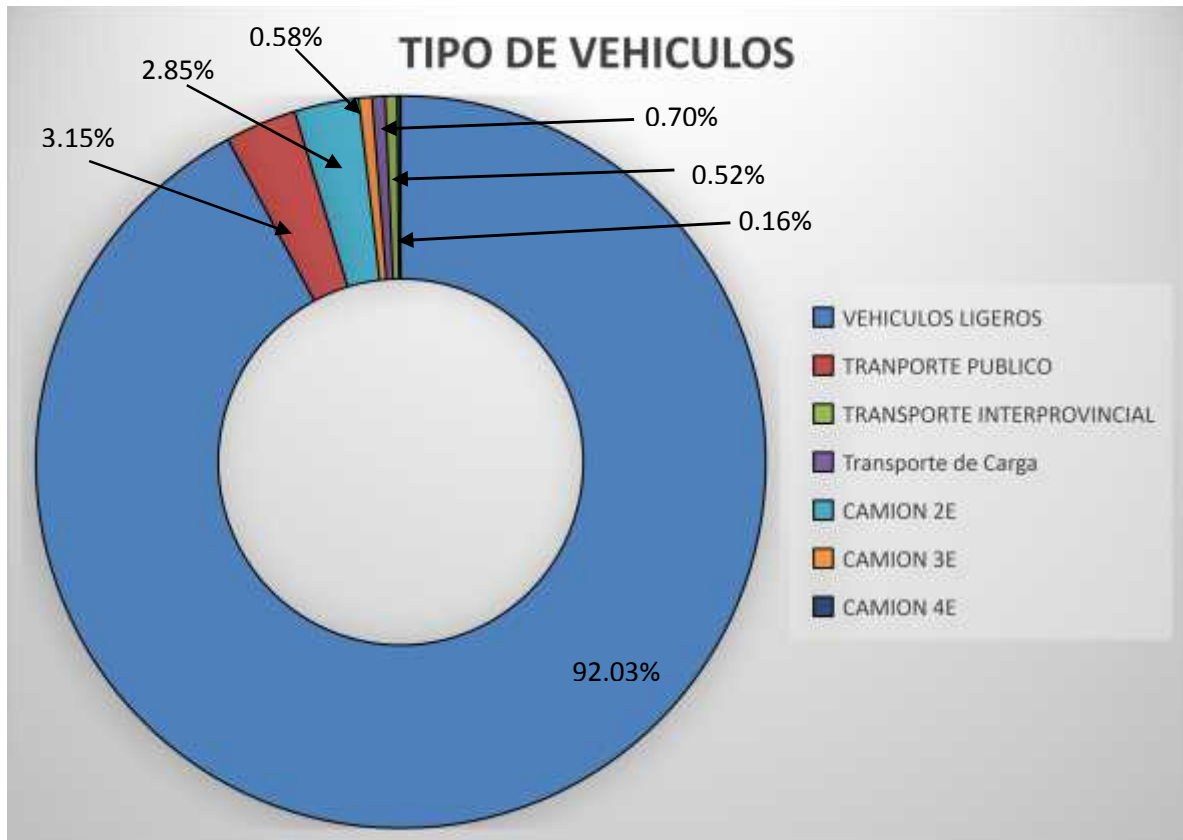
Esta dada principalmente por vehículos ligeros tales como autos, station wagon, pick up y panel, otro componente principal de la composición vehicular son las combis que sumados a los vehículos ligeros conforman más del 90% del total.

Tabla 13. Composición Vehicular Total

Tipo de Vehículo	cantidad	%
VEHICULOS LIGEROS	9,017	92.03%
TRANPORTE PUBLICO	309	3.15%
TRANSPORTE INTERPROVINCIAL	51	0.52%
Transporte de Carga	69	0.70%
CAMION 2E	279	2.85%
CAMION 3E	57	0.58%
CAMION 4E	16	0.16%
Total	9,798	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29. Clasificación Vehicular por tipo de Vehículo



Fuente: Elaboración Propia

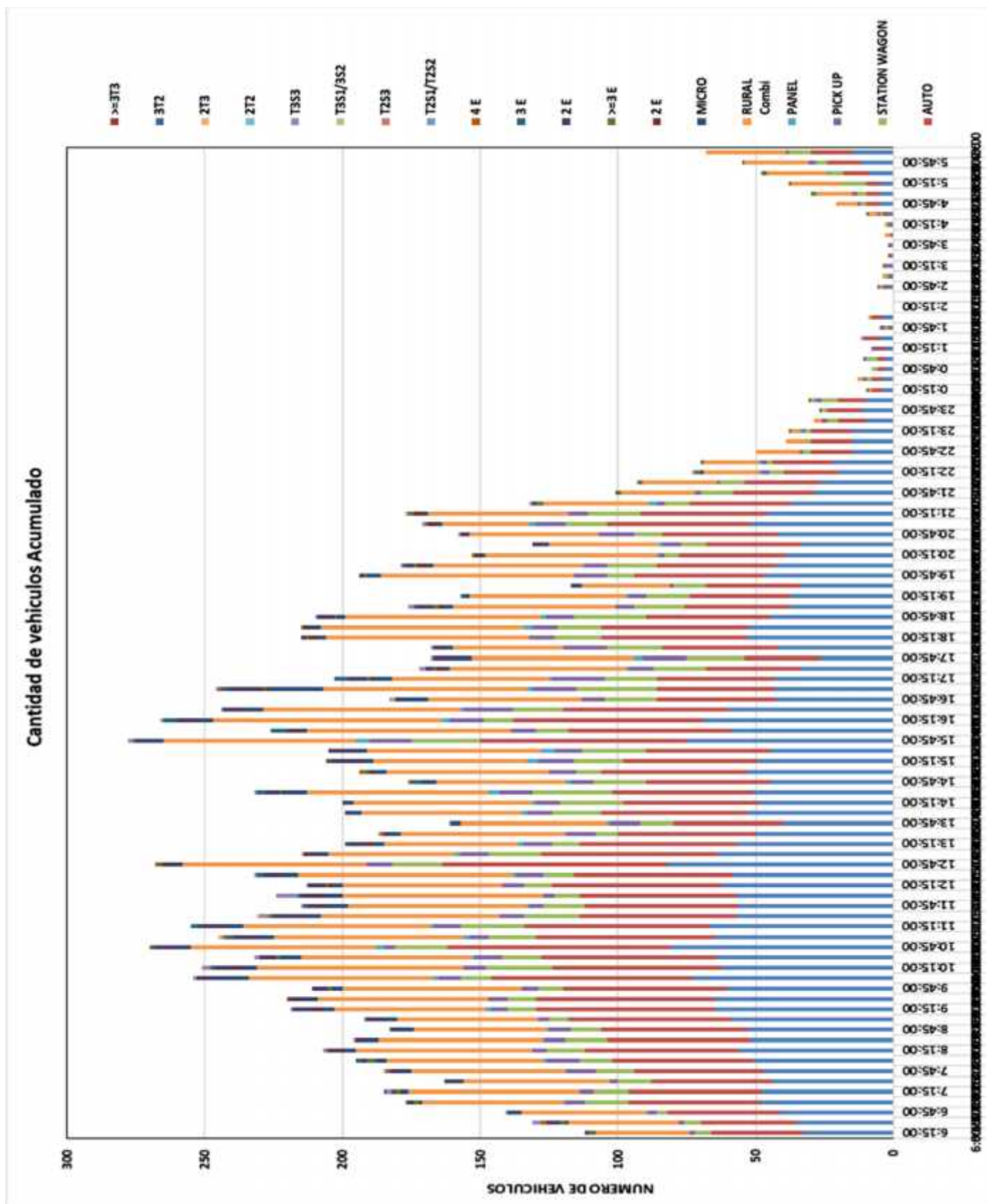
Tabla 14. Resumen total del volumen Vehicular por variación Horaria

RESUMEN TOTAL DEL PROMEDIO																						
HORA	DESTINO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1/3S2	T3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
6:00:00	6:15:00	33	6	2	0	34	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79		
6:15:00	6:30:00	35	6	2	0	40	1	0	2	5	0	2	0	0	3	0	0	0	0	96		
6:30:00	6:45:00	41	4	3	1	45	3	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	100			
6:45:00	7:00:00	48	16	7	1	51	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	129			
7:00:00	7:15:00	48	13	5	0	62	2	1	2	1	0	0	0	0	2	0	0	1	137			
7:15:00	7:30:00	44	12	3	0	53	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	119			
7:30:00	7:45:00	47	14	11	0	56	3	0	0	4	1	1	0	0	1	0	0	0	138			
7:45:00	8:00:00	51	12	12	1	57	4	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	144			
8:00:00	8:15:00	56	14	5	0	64	4	1	0	5	0	1	0	0	1	0	0	0	151			
8:15:00	8:30:00	52	15	8	0	60	4	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	144			
8:30:00	8:45:00	53	11	8	1	48	5	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	130			
8:45:00	9:00:00	59	7	4	0	51	5	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	133			
9:00:00	9:15:00	65	10	6	2	55	4	2	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	154			
9:15:00	9:30:00	65	10	7	0	62	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	155			
9:30:00	9:45:00	60	9	6	0	65	4	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	151			
9:45:00	10:00:00	73	11	8	2	67	11	0	0	8	0	0	0	0	1	0	0	0	181			
10:00:00	10:15:00	62	24	8	0	75	5	1	0	9	2	0	0	1	0	2	0	0	189			
10:15:00	10:30:00	64	14	10	1	62	8	0	1	6	0	0	0	0	2	0	0	0	168			
10:30:00	10:45:00	81	19	4	3	67	5	0	0	8	1	1	0	0	0	0	0	0	189			
10:45:00	11:00:00	65	17	7	2	69	5	0	0	9	3	1	0	0	1	0	1	0	180			
11:00:00	11:15:00	67	23	10	1	68	6	0	0	10	3	0	0	0	0	0	0	0	188			
11:15:00	11:30:00	57	20	9	0	65	4	0	0	13	1	1	0	0	3	0	1	0	174			
11:30:00	11:45:00	56	15	5	1	65	7	0	0	8	1	0	0	0	1	0	0	0	159			
11:45:00	12:00:00	57	9	4	0	73	7	1	0	7	1	0	0	0	8	0	0	0	167			
12:00:00	12:15:00	62	10	8	0	58	4	1	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	151			
12:15:00	12:30:00	58	11	10	1	78	6	0	0	7	2	0	0	0	1	0	0	0	174			
12:30:00	12:45:00	82	18	9	0	67	2	0	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0	186			
12:45:00	13:00:00	64	19	10	2	46	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	151			
13:00:00	13:15:00	57	10	10	2	49	4	2	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	142			
13:15:00	13:30:00	50	8	11	0	60	4	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	137			
13:30:00	13:45:00	40	12	11	1	53	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	121			
13:45:00	14:00:00	53	18	9	2	58	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	146			
14:00:00	14:15:00	49	23	9	1	65	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	151			
14:15:00	14:30:00	51	29	12	4	66	9	0	1	5	3	0	0	0	1	0	0	0	181			
14:30:00	14:45:00	45	19	8	2	47	4	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	131			
14:45:00	15:00:00	53	9	10	0	59	5	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	141			
15:00:00	15:15:00	49	18	13	4	56	4	1	0	10	1	0	0	0	0	0	0	1	157			
15:15:00	15:30:00	45	23	10	5	63	5	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	160			
15:30:00	15:45:00	75	25	15	5	70	6	0	0	4	1	0	0	0	2	0	0	0	203			
15:45:00	16:00:00	59	12	9	0	74	3	2	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	167			
16:00:00	16:15:00	69	11	12	3	83	5	0	0	8	5	0	0	0	1	0	0	0	197			
16:15:00	16:30:00	60	18	18	1	72	6	1	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	184			
16:30:00	16:45:00	43	19	8	0	56	10	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	140			
16:45:00	17:00:00	43	29	16	2	74	20	1	1	12	3	1	0	0	1	0	0	0	203			
17:00:00	17:15:00	43	19	19	1	57	7	1	1	7	5	0	0	0	0	0	0	0	160			
17:15:00	17:30:00	34	19	9	1	64	3	2	1	3	0	0	0	0	2	0	0	0	138			
17:30:00	17:45:00	27	21	16	3	59	7	0	0	7	0	0	0	0	1	0	0	0	141			

17:45:00	18:00:00	42	20	16	0	40	3	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	
18:00:00	18:15:00	53	17	9	0	74	3	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162	
18:15:00	18:30:00	53	16	9	3	74	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162	
18:30:00	18:45:00	45	26	10	2	71	3	0	1	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	165	
18:45:00	19:00:00	38	18	7	0	59	3	2	2	6	1	0	0	0	0	2	0	0	0	138	
19:00:00	19:15:00	37	16	6	1	57	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	120	
19:15:00	19:30:00	34	12	1	0	32	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	
19:30:00	19:45:00	47	10	12	0	70	5	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	
19:45:00	20:00:00	43	18	8	1	54	2	4	1	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	136	
20:00:00	20:15:00	39	5	2	1	62	0	0	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	114	
20:15:00	20:30:00	34	9	7	1	40	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	
20:30:00	20:45:00	42	10	13	0	47	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	116	
20:45:00	21:00:00	52	15	11	2	32	2	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	119	
21:00:00	21:15:00	46	19	7	0	51	2	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	131	
21:15:00	21:30:00	37	9	3	3	38	0	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	95	
21:30:00	21:45:00	29	12	2	0	27	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	
21:45:00	22:00:00	27	9	1	0	27	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	
22:00:00	22:15:00	20	5	3	1	20	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	53	
22:15:00	22:30:00	22	2	2	1	20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	
22:30:00	22:45:00	15	3	1	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	
22:45:00	23:00:00	15	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	
23:00:00	23:15:00	15	2	1	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
23:15:00	23:30:00	10	4	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
23:30:00	23:45:00	12	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
23:45:00	0:00:00	10	6	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	
0:00:00	0:15:00	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
0:15:00	0:30:00	4	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
0:30:00	0:45:00	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
0:45:00	1:00:00	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
1:00:00	1:15:00	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
1:15:00	1:30:00	5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
1:30:00	1:45:00	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
1:45:00	2:00:00	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
2:00:00	2:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2:15:00	2:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2:30:00	2:45:00	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
2:45:00	3:00:00	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
3:00:00	3:15:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
3:15:00	3:30:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3:30:00	3:45:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3:45:00	4:00:00	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
4:00:00	4:15:00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
4:15:00	4:30:00	2	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
4:30:00	4:45:00	5	2	1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	
4:45:00	5:00:00	5	3	2	0	13	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	
5:00:00	5:15:00	5	9	0	0	18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	
5:15:00	5:30:00	9	5	0	1	22	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	
5:30:00	5:45:00	12	4	3	0	23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	
5:45:00	6:00:00	15	8	1	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	
TOTAL		3455	1024	568	75	3895	270	39	51	279	57	16	0	1	1	48	1	3	1	2	9786

Fuente: Elaboración Propia

Figura 30. Cantidad de vehículos acumulado



Fuente: Elaboracion Propia

3.2.6. FACTORES DESTRUCTIVOS

La metodología utilizada en el cálculo de los factores destructivos es de la AASHTO en ella relacionando las diferentes tablas obtiene unos factores en base a la carga aplicada que varía de acuerdo al eje que se quiera evaluar tal es así que se obtienen estas relaciones para Ejes simples de ruedas simples, Eje simple de ruedas dobles, Eje Tándem de dos ejes de ruedas dobles, Eje Tridem de tres ejes de ruedas dobles.

De esta manera se obtiene de forma directa los factores de destrucción a utilizarse, en la tabla 15 se muestran los resultados de aplicar estos factores de destrucción , la misma que considera las siguientes correlaciones⁴⁵:

RELACION DE CARGAS POR EJE PARA DETERMINAR EJES EQUIVALENTES (EE)

Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1}=(P/6.6)^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2}=(P/8.2)^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2}=(P/15.1)^{4.0}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2}=(P/21.8)^{3.9}$

⁴⁵ AASHTO, Guide for Design Of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Tabla 15. Cuadro IMDA y factores destructivos

TIPO DE VEHICULO	N° DE VEHICULOS	Eje delantero	CARGAS POR CADA EJE			PESO BRUTO MAX	f	f*IMDA	
			1°Eje	2°Eje	3°Eje				
AUTO	3455	1	1			2	0.001	3.64	
STATION WAGON	1024	1	1			2	0.001	1.08	
CAMIONETAS	PICK UP	568	1	1		2	0.001	0.60	
	PANEL	75	1	1		2	0.001	0.08	
	COMBI	3895	1	1		2	0.001	4.11	
MICRO	270	7	9			16	2.717	733.46	
BUS	B2	39	7	11		18	4.504	175.64	
	>= 3E	51	7	16		23	2.526	128.82	
CAMION	C2	279	7	11		18	4.504	1256.52	
	C3	57	7	18		25	3.285	187.22	
	C4	16	7	25		32	2.971	47.54	
SEMI TRAYLER		0				29	7.742	0.00	
	T2S3	1	7	11	25	43	6.210	6.21	
		1				36	6.523	6.52	
	T3S3	48	7	18	25	50	4.991	239.55	
TRAYLER	C2R2	1	7	11	11	11	40	10.980	10.98
	C2R3	3	7	11	11	18	47	9.761	29.28
	C3R2	1	7	18	11	11	47	9.761	9.76
	C3R3	2	7	18	11	18	54	8.542	17.08
IMDA	9786						$\sum f * I$	2858.11	

Fuente: Elaboración Propia

3.2.7. CALCULO DE NUMERO DE EJES EQUIVALENTES

Con los máximos factores destructivos del pavimento, el IMDA y las tasas de crecimiento del tráfico se han calculado la cantidad acumulada de ejes equivalentes a 8.2 toneladas.

$$ESAL = ESAL_0 \times 365 \times D_d \times D_i \times \{(1+r)^n - 1 / r\}$$

Donde:

ESALO= Repeticiones del eje equivalente actual

Dd= Factor de distribución direccional, por lo general se considera 0.5

Di= Factor de distribución de carril

r= Tasa de crecimiento anual

n= Periodo de diseño

El ESAL finalmente hallado adoptado para el tramo de estudio es el siguiente, los mismos que han sido obtenidos tomando en cuenta los mayores pesos por eje y son mostrados en el siguiente recuadro:

CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 16. Resultados de ESAL Proyectados a 10 y 15 años

ESTACION N° 1	TRAMO: PILCOMAYO - CHUPACA
ESAL (ACTUAL)	5.41 E+05
ESAL (10 AÑOS)	5.58 E+06
ESAL (15 AÑOS)	8.53 E+06

Fuente: Elaboración Propia

3.2.8. EVALUACION ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA

Métodos de Evaluación con Equipos

La evaluación estructural del pavimento mediante el uso de equipos consiste en utilizar un equipamiento específico para estos fines, con el propósito de medir sobre la vía las variables requeridas, que luego son procesadas para obtener el estado estructural ó funcional de la vía y establecer las intervenciones correspondientes. Dicha evaluación es un elemento fundamental para desarrollar los programas de rehabilitación, conservación y refuerzo.

Para la evaluación de pavimentos con equipos se debe tener las siguientes consideraciones⁴⁶:

-) Los ensayos no destructivos son preferibles para evitar deterioros innecesarios de la estructura del pavimento.
-) Las interferencias y cortes del tráfico deben ser mínimas. Siempre que sea posible deben utilizarse métodos de ensayo que no afecten al tráfico.
-) La velocidad de los ensayos debe ser suficientemente alta para medir una red de carreteras en un período de tiempo adecuado para cubrir los requisitos de operación.
-) La evaluación de los ensayos de medición debe ser ajustada, confiable y basada en análisis racionales.
-) El procesamiento y evaluación de los resultados de las mediciones debe realizarse en un tiempo eficiente para cumplir los requisitos de operación.

⁴⁶ María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”

Rehabilitación estructural

Las soluciones a aplicar en una rehabilitación estructural podrán ser de los siguientes tipos⁴⁷:

-) Eliminación parcial y reposición del pavimento existente, incluyendo el reciclado de los materiales.
-) Recrecimiento del espesor sobre el pavimento existente.
-) Combinación de las dos soluciones anteriores.
-) Reconstrucción total del pavimento, lo que puede incluir la subrasante.

En la solución de eliminación parcial y reposición del pavimento se retiran la capa o capas que están agotadas, o próximas al agotamiento, hasta la profundidad que se considere necesario, y se sustituyen por otras de materiales adecuados. En este caso se entiende que el espesor total a colocar sea adecuado para el nivel de tráfico que circulará en el nuevo período de diseño. La solución de recrecimiento consiste en colocar sobre el pavimento existente una o varias capas nuevas, elevando la cota de la superficie de rodadura, por consiguiente, la capacidad estructural, como resultado el número de ejes de cálculo que soportará la nueva estructura.

Reparación previa de las zonas singulares

Aunque el valor característico de la deflexión del tramo no sea excesivo, pueden existir sin embargo deterioros localizados superficialmente que reflejen falta de capacidad estructural que afecte la subrasante. Suelen presentarse con un aspecto visual diferente al existente en el resto del tramo. Se entenderá que el agotamiento estructural afecta a la subrasante en las zonas localizadas de blandones, detectadas visualmente, y cuando para la categoría de tráfico pesado

⁴⁷ *María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”*

correspondiente, el valor de la deflexión en un punto determinado supera los valores indicados en la tabla de categoría de tráfico pesado.

Se considerará que el pavimento tiene una vida residual insuficiente siempre que el valor de la deflexión patrón en un punto determinado supere los umbrales del valor puntual de la deflexión (10^{-2} mm) para el agotamiento estructural.

3.2.9. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para poder evaluar el estado de pavimentado de la carretera es necesario evaluar previamente sus parámetros más significativos, los del entorno y los de las solicitudes de tráfico. Entre los datos básicos a analizar se encuentran⁴⁸:

Características de la estructura del pavimento y su estado:

-) Sección de la estructura de pavimento existente, aceras y paseos
-) Características y espesor de los materiales que conforman la estructura del pavimento.
-) Fecha de construcción y comienzo de explotación.
-) Fecha de ejecución de acciones de conservación o de rehabilitación.

Características del Entorno:

-) Características geométricas de la vía.
-) Sección transversal, perfil longitudinal y otros.
-) Características de la faja de vía.
-) Características y condiciones del drenaje y su comportamiento a lo largo del trazado.
-) Condiciones climáticas de la zona.
-) Clasificación vía o tramo (Urbano, rural, colectora, Autopista, etc.).

⁴⁸ María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”

Datos del Tráfico:

-) Intensidad y composición del tránsito.
-) Porcentaje de tráfico pesado.

Evaluación del estado de la estructura del pavimento:

Este paso es muy importante porque el objetivo es establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la solución de rehabilitación más adecuada en cada tramo homogéneo en que se divide la carretera objeto de estudio y se realiza aplicando los métodos de evaluación visual y con equipos (Viga Benkelman), y después con el diagnóstico sobre el estado del pavimento, se realizan diferentes acciones, como son⁴⁹:

-) Se comparan los resultados para obtener la evaluación superficial.
-) También es necesario caracterizar los diferentes materiales que forman parte de las capas de la estructura de pavimento existente como son: Los materiales de base y subbase que pueden ser aprovechados, (granulometría, clasificación, Límites de Atterberg, Equivalente Arena y CBR).
-) Por último realizar un estudio de acción del tránsito fundamentalmente el pesado, que circula durante el periodo de explotación de la estructura del pavimento, para poder determinar que solicita el tramo de carretera en estudio.

Para este estudio se partirá de las intensidades de los vehículos pesados y los datos disponibles para prever su evolución como son:

-) Tipo de la carretera objeto de estudio, si es de 2 carriles de circulación y doble sentido de circulación, se utilizará para el cálculo de la categoría de

⁴⁹ María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”

tráfico pesado que incide sobre cada carril la mitad (50%) de los vehículos pesados que circulan por la calzada.

- J) Para estimar la evolución del tráfico pesado se forma como tasa de crecimiento valor medio obtenido en los estudios de los últimos 5 años.
- J) Por ultimo en las Categorías del tráfico pesado se selecciona el tipo de tráfico de la vía.

Por características físicas:

Para seleccionar los tramos homogéneos en la vía de estudio, por sus características físicas serán aquellos en que existan uniformidad ó no existan variaciones sensibles en los datos de las características geométricas de la vía (Ej. Uniformidad en el número de carriles por calzada y otros), en los de la estructura del pavimento (Ej. Igual sección de la estructura del pavimento existente), en su estado (Ej. Fecha de realizada la última rehabilitación ó acciones de reparaciones puntuales), el entorno y los datos del tráfico.

Por resultados de la evaluación:

Estos tramos homogéneos deben presentar también una vez inspeccionados un comportamiento uniforme en los resultados de la evaluación visual y en la de equipos de bajo rendimiento, ó sea presentar uniformidad en los resultados de algún parámetro evaluado ya sea las medidas de las deflexiones ó irregularidad y completándose con tomar muestras de ensayo, sondeos, calicatas y otros.

Después de realizar el diagnóstico sobre el estado de cada tramo homogéneo y el nivel de sus deterioros, se analizan las soluciones de rehabilitación posibles y se proyecta la más apropiada en cada caso.

El proyecto de la solución de rehabilitación se individualizará para cada uno de los tramos homogéneos de comportamiento uniforme que se hayan determinado, basándose en la inspección visual y en la medición del pavimento

y en especial, en el estudio de las deflexiones. De existir zonas singulares dentro de cada tramo homogéneo, que por su estado de deterioro así se consideren, se les propone una solución particular localizada.

Principios generales sobre la rehabilitación estructural de pavimentos

Un refuerzo es una técnica de rehabilitación estructural de pavimento que consiste en extender una o varias capas sobre la superficie empleando materiales nuevos ó reciclados, con espesor suficiente para producir un aumento significativo de la capacidad resistente de la estructura. La solución de refuerzo puede justificarse a partir de las siguientes razones fundamentales⁵⁰:

-) Crecimiento del tráfico pesado, que puede producir una reducción significativa en la vida útil de la estructura.
-) Capacidad estructural insuficiente para el tráfico actual, medida mediante algún método de inspección visual o utilizando equipos de medición.
-) Nivel de deterioros cuya magnitud y frecuencia no justifican económicamente una solución individualizada, por lo cual es más económica una solución generalizada.
-) Uso frecuente de bacheo, sellado de grietas, u otras soluciones de conservación ordinaria, con elevados costos anuales, que es una medida de que las condiciones del pavimento están cerca de su agotamiento estructural.

Teniendo en cuenta la necesidad de establecer el refuerzo como solución, a partir de obtener los datos que se requieren con la tarea técnica y la definición de los tramos homogéneos, es necesario ejecutar diferentes tareas.

-) Deducción de los espesores totales y por capas existentes, así como las características de los materiales.
-) Análisis de las afectaciones existentes en la estructura de pavimento en cada tramo, producidas por problemas de drenaje.

⁵⁰ *María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”*

- J Con la información de tráfico, se estiman los volúmenes de tráfico y las magnitudes de las cargas, existentes y futuro.
- J Procesamiento y análisis de las deflexiones obtenidas en el tramo.
- J Dimensionamiento de las estructuras necesarias para soportar el tráfico total, producto del existente, más el adicional previsto que circulara en el futuro.

Para la correcta estimación de los criterios indicados, se tendrán en cuenta la información existente (datos de tráfico, datos meteorológicos, mapas climáticos y geotécnicos, etc), el historial de la carretera a reforzar (anteriores refuerzos, reparaciones, etc), los resultados de evaluaciones anteriores con equipos de bajo rendimiento y, fundamentalmente, la evaluación visual.

La deflexión con viga Benkelman corresponde a la que se obtiene aplicando una carga de 100kN sobre un eje simple con ruedas duales, a la temperatura de 20°C en la superficie del pavimento y la humedad de cálculo en la subrasante. Cuando existen otras condiciones de medida, se realizan las correspondientes correcciones a los resultados obtenidos.

La deflexión de cálculo se obtiene aplicando a cada valor de deflexión obtenido coeficientes de corrección por humedad de la subrasante y por temperatura del pavimento, si las mediciones han sido hechas en diferentes condiciones de la medida patrón. En cada tramo se determina la deflexión característica (en centésimas de milímetro)

Descripción de la deformada

La curva de deformación o deflexión que se forma en la superficie del pavimento adopta diversas configuraciones dependiendo de la magnitud de la carga aplicada sobre la superficie, de la rigidez de la estructura y de la subrasante, espesores de capas, etc. La estructura del pavimento distribuye las tensiones producidas por las cargas de los vehículos a las capas subyacentes y a la

subrasante. De acuerdo a la influencia de estos factores así será la forma de la curva de deformación en la subrasante.

En la medida que el pavimento tenga menor capacidad portante se concentran más los valores de las cargas que llegan a la subrasante mientras que los de mayor capacidad distribuyen las cargas en una superficie mayor.

Se conoce que las deflexiones alejadas de la zona de aplicación de la carga están relacionadas con la respuesta de la subrasante y en los valores de deflexión cercanos a la carga se deben a las respuestas de las capas superiores del pavimento y a la subrasante.

Dimensionamiento de las estructuras necesarias para soportar el tráfico futuro

El proyecto de un refuerzo es un proceso en el cual se tienen en cuenta criterios técnicos y económicos y la definición de una solución viable en posibilidades materiales y ejecución. Un aspecto básico del proyecto es el diseño estructural, mediante el cual se determinan los espesores y las características mecánicas de los distintos materiales, existentes y nuevos.

Se distinguen dos métodos generales para el dimensionamiento de refuerzos, los denominados métodos empíricos y los métodos analíticos, en los que básicamente pueden aplicarse los principios generales del cálculo de pavimentos de nueva construcción.

Los factores fundamentales para el cálculo de refuerzo son: las condiciones climáticas; que condicionan las características resistentes de los materiales, el tráfico, la capacidad resistente de la estructura existente y las características de los nuevos materiales utilizados en el refuerzo. En el caso de los pavimentos flexibles es usual utilizar la deflexión característica como parámetro para evaluar la capacidad de la estructura existente⁵¹.

⁵¹ *María Álvarez Quintero “Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras”*

Estas mediciones se deben ejecutar en las épocas en que las condiciones de trabajo de los pavimentos son más desfavorables, y de no ser posible realizar las correcciones pertinentes.

Los valores de deflexión en la superficie del pavimento están relacionados con el número de aplicaciones de la carga de cálculo que puede soportar la estructura hasta su agotamiento estructural por fatiga. Las medidas de las deflexiones se deben complementar siempre con la caracterización de los materiales y estructura del pavimento existentes.

Los métodos analíticos para el dimensionamiento de refuerzo se basan en la determinación de tensiones y deformaciones producidas por una carga tipo y la posterior aplicación de una ley de comportamiento para comprobar el número de ejes de cálculo que la estructura puede soportar bajo ese nivel de tensiones o deformaciones.

El proyectista debe escoger entre las secciones estructurales posibles la solución técnica y económicamente más adecuada, teniendo en cuenta las disponibilidades de materiales para las capas de refuerzo, los costos de los materiales, los volúmenes de obra y las condiciones de tráfico durante la ejecución del refuerzo.

Resultados obtenidos en la vía evaluada.

La vía que se evaluó es la carretera Cañete – Lunahuana – Chupaca el tramo escogido es de Pilcomayo – Chupaca, AV. Coronel Parra.

Carretera Cañete – Lunahuana – Chupaca “AV. Coronel Parra”

Características de la estructura del pavimento:

Sección de la estructura del pavimento (Proyecto ejecutado por Corporación Mayo SAC. Marzo del 2014)

Tramo desde la KM 00 + 000 hasta la KM 05 + 300, la sección de la estructura del pavimento es la siguiente:

-) 0.05 m de Carpeta Asfáltica.
-) 0.25 m de base.

Características del Entorno:

Características Geométricas de la Vía

-) Longitud – 5.300 Km
-) Tipo de Pavimento – Flexible

Sección Transversal:

-) Número de carriles: 1 (en cada sentido de circulación).
-) Ancho de carril: 3.3 m c/u
-) Pontones: 1 Pontón con una longitud de 7 m

3.2.10. MEDICION DE DEFLEXIONES

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 a Daniel Benkelman, quien la desarrolló en el año 1952 como parte de ensayos viales de la WASHO (WASHO 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.

Procedimiento de campo

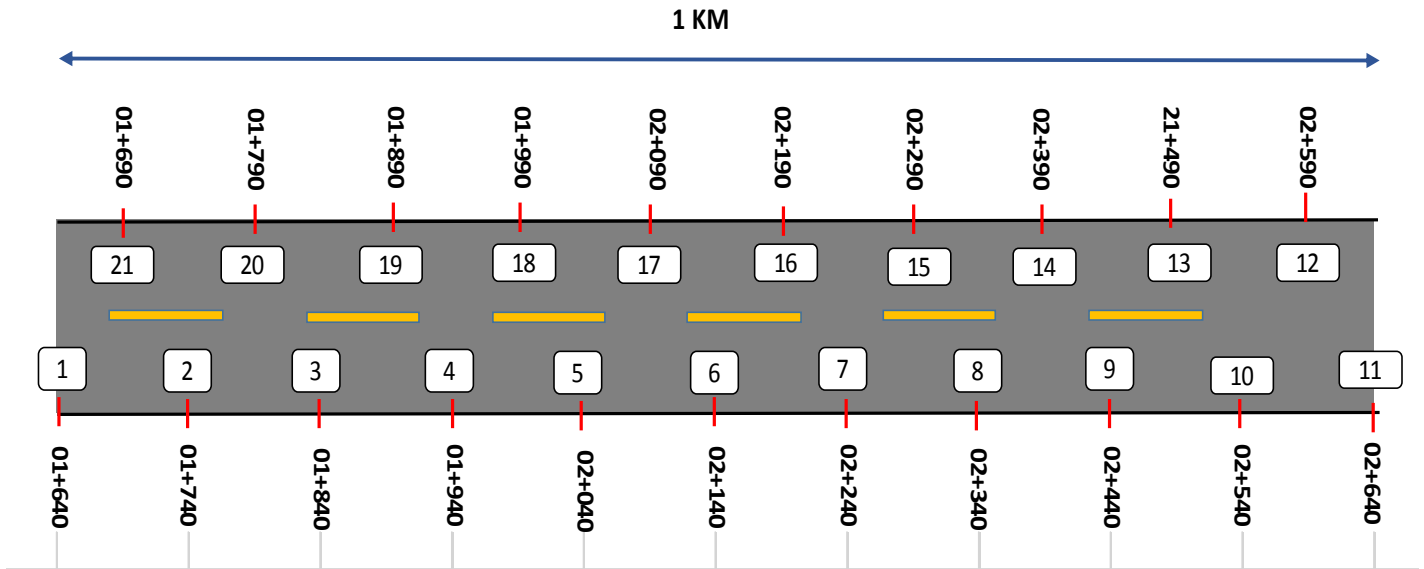
Para medir las deflexiones en la superficie del pavimento, se usará el deflectómetro conocido como la viga benkelman, el cual es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de sus extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un flexímetro o deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm. dependiendo de la relación de brazos del equipo y de la factibilidad que el dial proporcione la verdadera magnitud de las medidas, en forma automática, se establece si es necesario corregir o no las lecturas.

La carga de ensayos, del orden de 18,000 libras (8,200 kg), las proporciona el eje posterior simple de llanta doble de un camión. La presión de inflado de las llantas debe verificarse en 80 psi (5.6 kg/cm²). Eventualmente la carga usada en los ensayos puede tener una variación en el orden de +/- 1%.

-) El punto del pavimento a ser ensayado, deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Para ello se empleó yeso para poder determinar con la mayor exactitud las distancias a las cuales se tenía que hacer el ensayo, medidas con wincha cada 100 metros en el lado derecho y de la misma manera en el lado izquierdo alternadamente como muestra la figura.

Figura 31. Puntos del Ensayo deflectométrico

TRAMO DEL ENSAYO KM 01+640 - KM 02+640



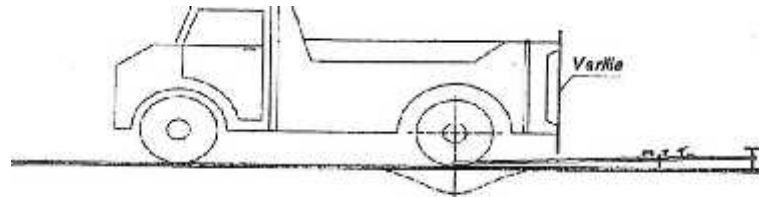
Fuente: Elaboración Propia

- La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado, quedando éste ubicado entre ambas llantas. Para la correcta ubicación de la misma es conveniente colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual y que coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.
- Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del brazo móvil (del primer brazo de mayor longitud, el caso sea doble) coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las cubiertas de las llantas de la rueda dual. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual,

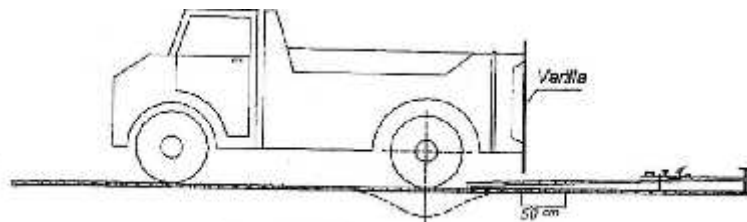
se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la viga en la posición como estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir igualmente, haciendo uso de una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad.

- J 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 25, 50, 90 y 120 cm) o por lo menos 3 lecturas, pero se pueden obtener más, con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea obtener una idea gráfica del tipo de curva de deflexiones que se producen.
- J Se retira o liberan los seguros del o brazos móviles y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que el o los brazos móviles de medición quede en contacto con el vástago del ó diales.
- J Se ajusta el dial de modo que su vástago tenga un recorrido libre entre 4 y 6 mm (4 ó 6 vueltas).
- J Se gira la esfera del dial del extensómetro, hasta que la aguja quede en cero y se verificará la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la viga. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición cero (0).
- J El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga, cuando la lectura inicial varía en 0.01 mm/ minuto o menos.
- J Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión procediéndose a tomar las lecturas conforme se va coincidiendo con las medidas de 25cm, 50cm, 90cm y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo hasta una distancia de 120cm aproximadamente en que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

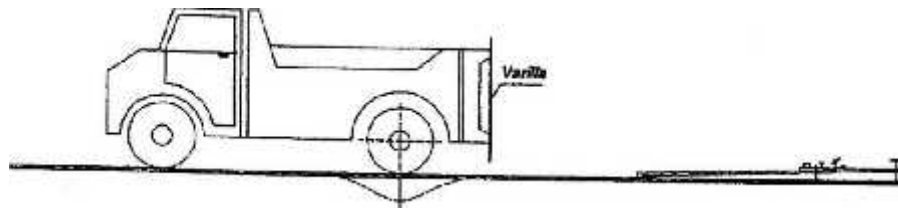
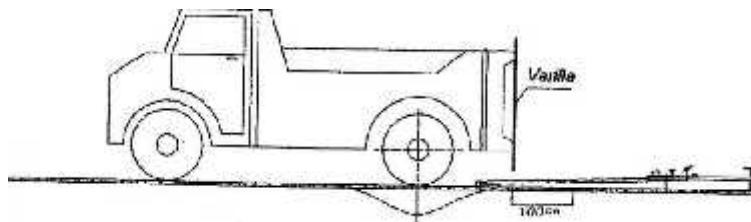
Figura 32. Toma de lecturas de deflexión descripción grafica

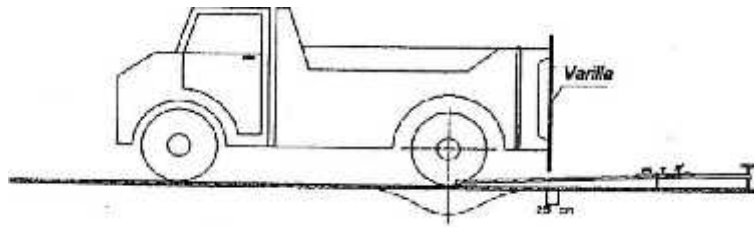


(a) Posición Inicial (D_0 = deflexión máxima)



(c) Posición a 50 cm (D_{50})





Fuente: Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones

-) Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea) cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea demarcada entre el punto de medición y el borde del pavimento (a no menos de 25 cm del mismo).
-) Se llena con (agua, glicerina, aceite o asfalto) el orificio y, una vez pasada el tiempo prudencial para que el líquido adquiriera la temperatura del pavimento (no menos de 10 minutos), se inserta el termómetro y se lee la temperatura antes del desplazamiento del camión.

El rango e temperaturas de trabajo, en el que se pueden llevar a cabo las mediciones, queda definido en la siguiente forma:

-) Concreto asfáltico que presenta la superficie libre de deformaciones, sellados, u otros tratamientos superficiales: 30°C
-) Mezclas de baja estabilidad o no convencionales, o concretos asfálticos no incluidos en el caso anterior: máxima temperatura para la cual no se detecta deformación plástica entre ambas cubiertas de la rueda dual, menor o igual a 30°C.
-) Tratamientos superficiales bituminosos: 38°C.

Para detectar deformación plástica entre los neumáticos de la rueda dual del camión o verificación del descenso de las patas de la viga se procede según lo dispuesto en la norma o especificación MTC E 1002-2000.

- J) Para la realización de esta rutina de medición en campo será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso cuando las marcas de las distancias a medir coincidan con el eje trasero del camión.
- J) Todo el trabajo será supervisado por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se hayan obtenido, así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado de pavimento, etc).

Deflectograma

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural, ya que las deflexiones permiten revelar la desuniformidad de su capacidad estructural.

La primera desuniformidad, en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas del suelo, principalmente en lo que hace a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, las determinaciones se han conducido a la huella externa del carril, considerado crítico a una distancia del borde variable en función del ancho de la calzada.

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aun para determinaciones muy próximas entre sí, debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo. Para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección, y, por ende, de una evaluación estadística.

Con este propósito, los resultados obtenidos se vuelcan en un gráfico en función de las progresivas, que se denomina deflectograma, en el que se incluyen todos los datos de interés, obtenidos: deflexiones corregidas y radios de curvatura, como del relevamiento de condición son presentados en correspondencia con las progresivas de medición, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos. en el campo.

El principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo. Por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- J Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento, considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son procesadas estadísticamente luego.
- J Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- J Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de buen y mal comportamiento.
- J Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.
- J El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento.

3.2.11. CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES

Una vez tomados los datos de campo, el cálculo de las deflexiones para cada sección consiste en sustraer la lectura final (punto de referencia de deflexión cero) a cada una de las otras, representando las respectivas diferencias la deformación en dichos puntos, las cuales en conjunto definen la curva de deflexión de superficie de pavimento.

Evaluación deflectométrica

Luego de realizado las lecturas de los diales que nos mostraban las deflaciones se procedió a procesarlas, dándoles el formato correspondiente, separando los ensayos de cada lado de la vía.

Tabla 17. Lecturas de deflexión de la Viga Benkelman

Ensayo	km	Lado	L0	L25	L50	L90	Lf (1.20)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura
1	01+640	LD	0	6	8	12	13	23	0.971
2	01+740	LD	0	4	7	10	10	23	0.971
3	01+840	LD	0	5	8	11	12	23	0.971
4	01+940	LD	0	4.5	6	7	7	23	0.971
5	02+040	LD	0	3.5	7	11	12	23	0.971
6	02+140	LD	0	3	7	8.5	9	23	0.971
7	02+240	LD	0	1.5	4	5.5	5	23	0.971
8	02+340	LD	0	4	6	9	9.5	23	0.971
9	02+440	LD	0	3	9	10	11	23	0.971
10	02+540	LD	0	2	5	8	9	23	0.971
11	02+640	LD	0	6	9	13	14	23	0.971
12	02+590	Li	0	7	12.5	13	15	23	0.971
13	02+490	Li	0	7	10	15	16	23	0.971
14	02+390	Li	0	5	8	11	12	23	0.971
15	02+290	Li	0	3.5	4	6	7	23	0.971
16	02+190	Li	0	4	7	9	10.5	23	0.971
17	02+090	Li	0	4	5.5	10	11	23	0.971
18	01+990	Li	0	5.5	9	11	12	23	0.971
19	01+890	Li	0	7	9	13	13	23	0.971
20	01+790	Li	0	3	7	9	9	23	0.971
21	01+690	Li	0	7	11	13.5	14	23	0.971

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Radio de curvatura y deflexiones en milímetros

D0	D25	Radio de Curvatura (m)	Rci > 100						
				D0	D25	D50	D90	D120	
13	7	536.5	OK!	0.52	0.28	0.2	0.04	0	
10	6	804.7	OK!	0.4	0.24	0.12	0	0	
12	7	643.8	OK!	0.48	0.28	0.16	0.04	0	
7	2	715.3	OK!	0.28	0.1	0.04	0	0	
12	8	919.6	OK!	0.48	0.34	0.2	0.04	0	
9	6	1072.9	OK!	0.36	0.24	0.12	0.04	0	
5	3	2145.8	OK!	0.2	0.14	0.04	-0.02	0	
9	5	804.7	OK!	0.38	0.22	0.14	0.02	0	
11	8	1072.9	OK!	0.44	0.32	0.08	0.04	0	
8	6	1609.4	OK!	0.32	0.24	0.12	0.08	0	
14	8	536.5	OK!	0.56	0.32	0.2	0.04	0	
15	8	459.8	OK!	0.6	0.32	0.1	0.08	0	
16	9	459.8	OK!	0.64	0.36	0.24	0.04	0	
12	7	643.8	OK!	0.48	0.28	0.16	0.04	0	
7	3	919.6	OK!	0.28	0.14	0.12	0.04	0	
10	6	804.7	OK!	0.42	0.26	0.14	0.06	0	
11	7	804.7	OK!	0.44	0.28	0.22	0.04	0	
12	6	585.2	OK!	0.48	0.26	0.12	0.04	0	
13	6	459.8	OK!	0.52	0.24	0.16	0	0	
9	6	1072.9	OK!	0.36	0.24	0.08	0	0	
14	7	459.8	OK!	0.56	0.28	0.12	0.02	0	

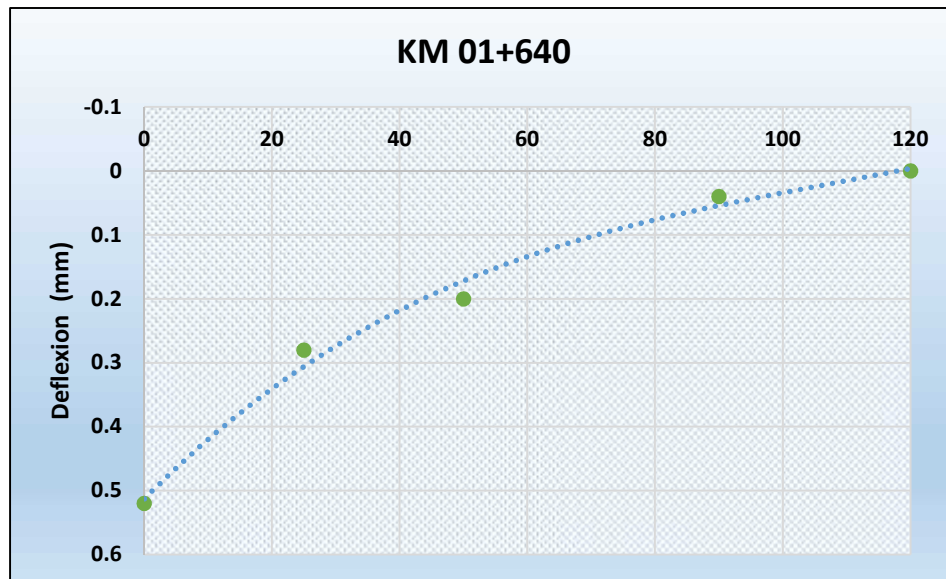
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°1

Punto 1	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.52
25	0.28
50	0.2
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 1. Curva de Deflexión 01



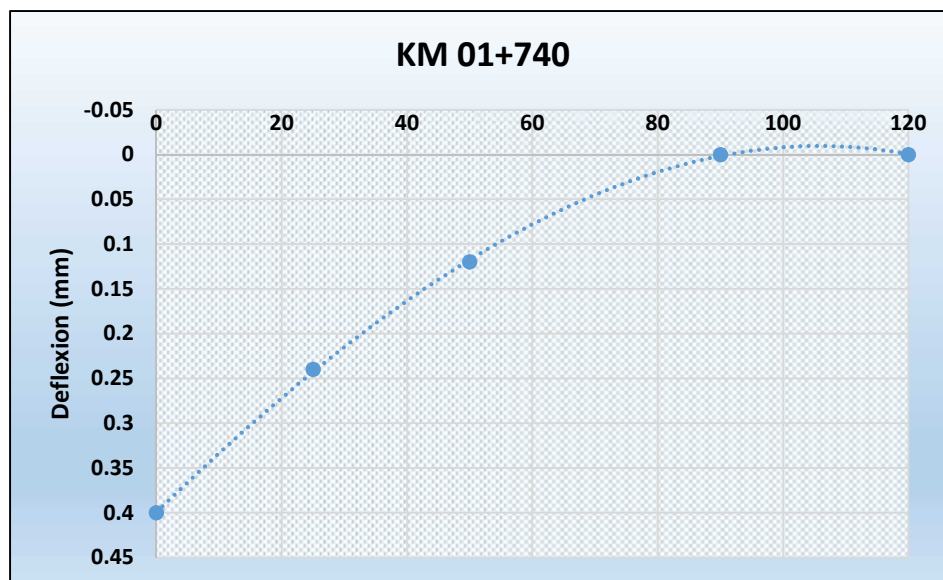
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°2

Punto 2	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.4
25	0.24
50	0.12
90	0
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 2. Curva de Deflexión 02



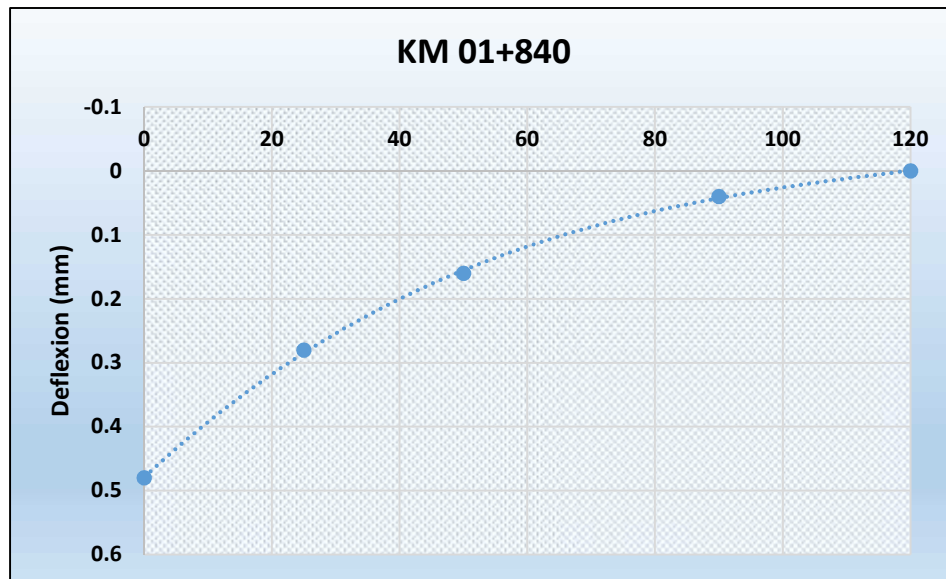
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°3

Punto 3	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.48
25	0.28
50	0.16
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 3. Curva de Deflexión 03



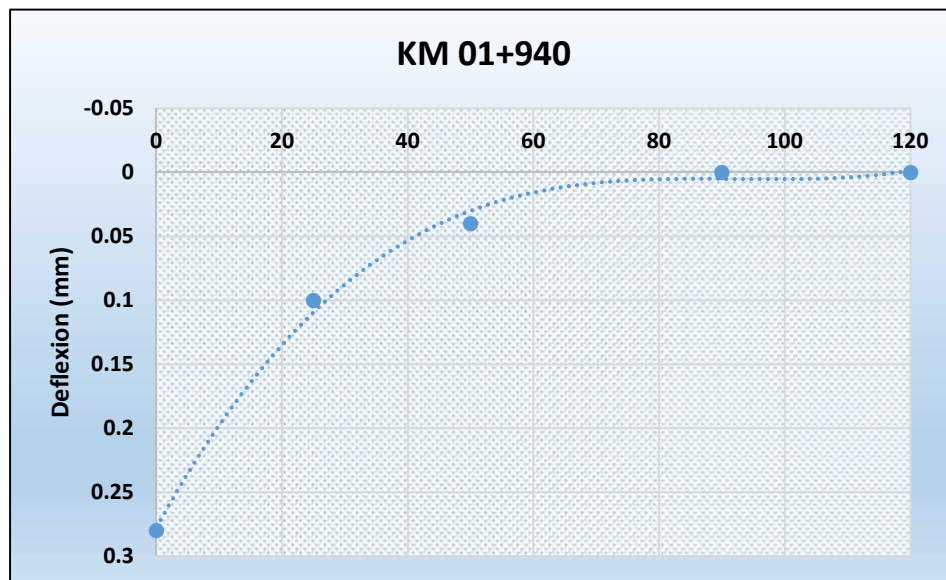
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°4

Punto 4	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.28
25	0.1
50	0.04
90	0
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 4. Curva de Deflexión 04



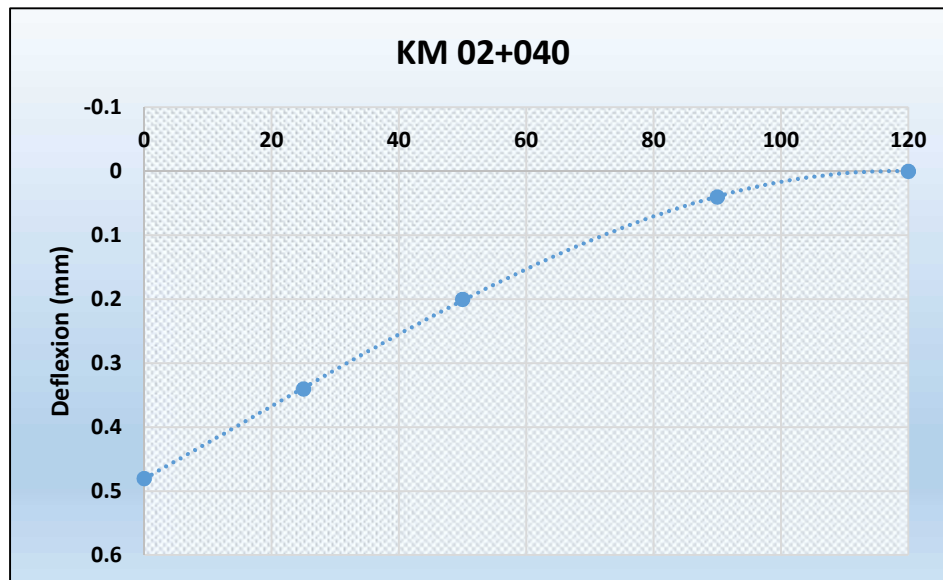
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°5

Punto 5	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.48
25	0.34
50	0.2
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 5. Curva de Deflexión 05



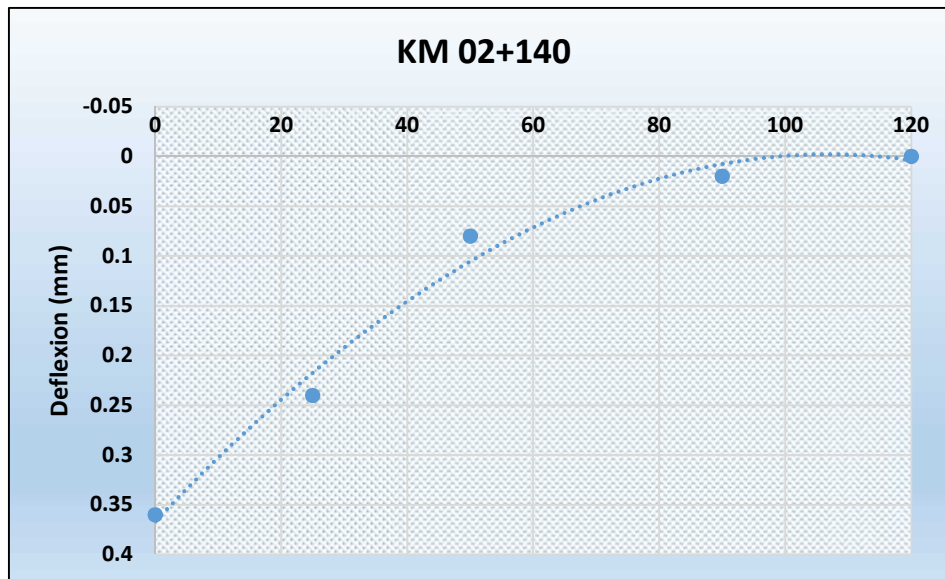
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°6

Punto 6	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.36
25	0.24
50	0.08
90	0.02
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 6. Curva de Deflexión 06



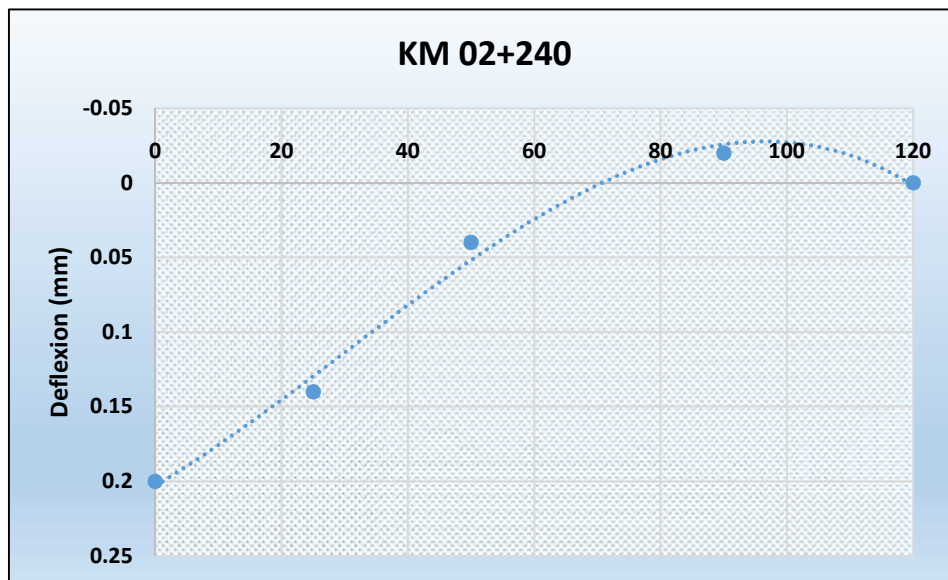
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°7

Punto 7	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.2
25	0.14
50	0.04
90	-0.02
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 7. Curva de Deflexión 08



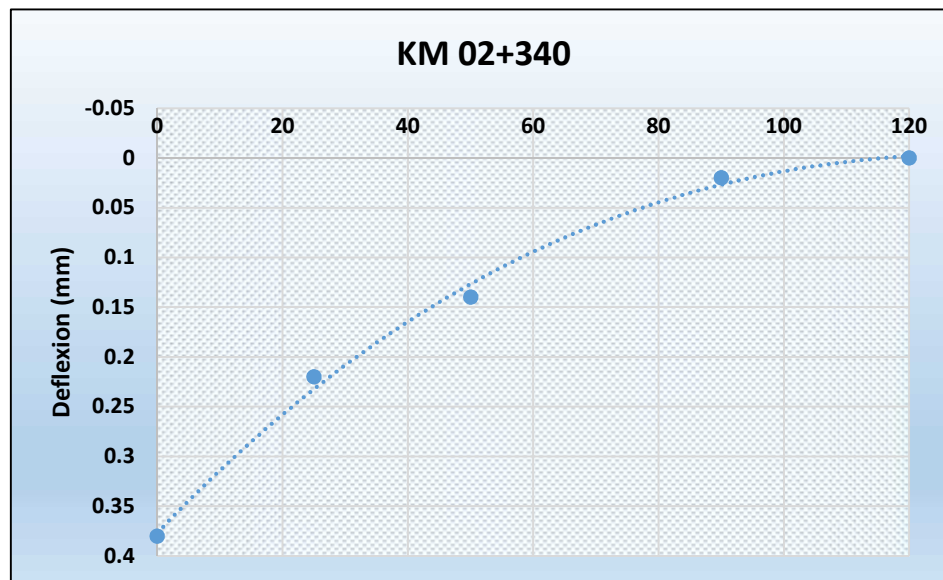
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°8

Punto 8	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.38
25	0.22
50	0.14
90	0.02
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 8. Curva de Deflexión 08



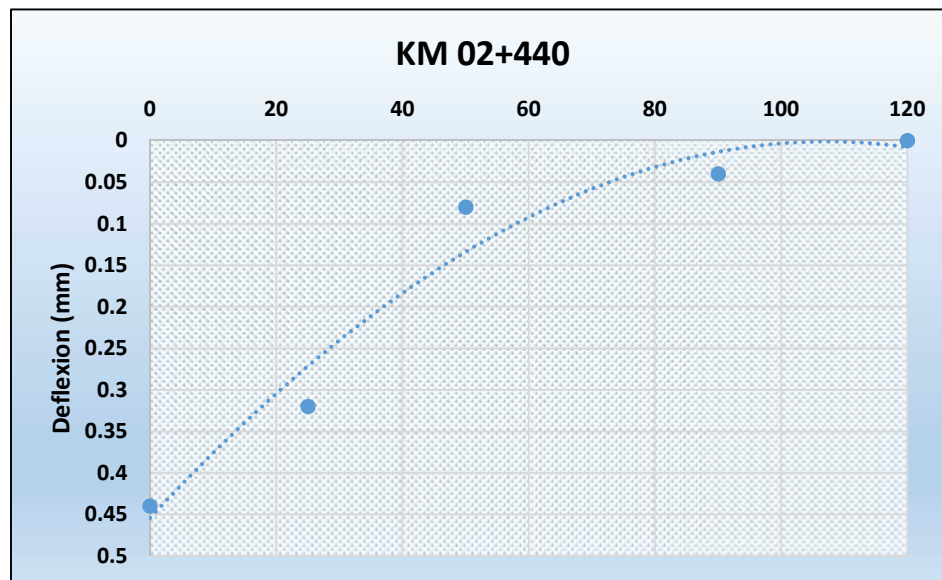
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°9

Punto 9	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.44
25	0.32
50	0.08
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 9. Curva de Deflexión 09



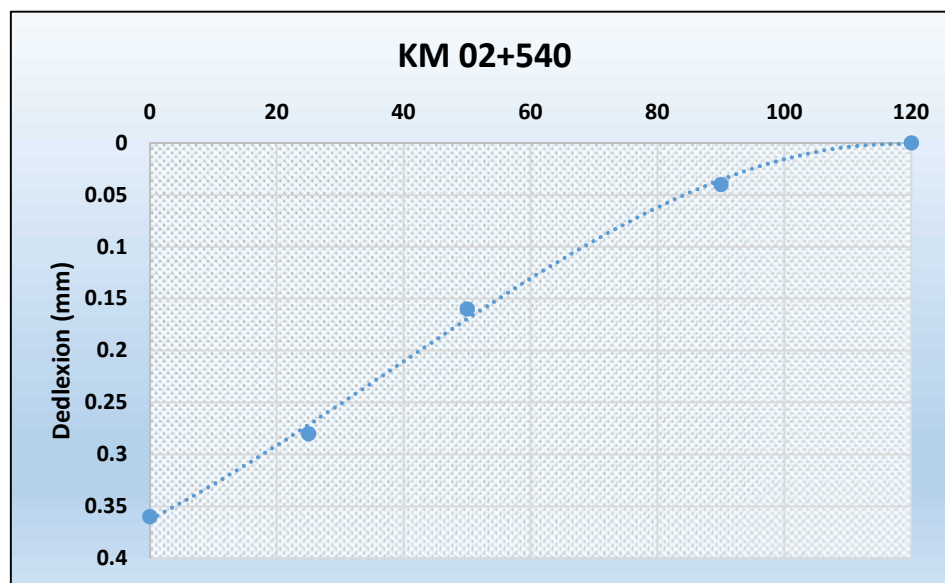
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°10

Punto 10	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.36
25	0.28
50	0.16
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 10. Curva de Deflexión 10



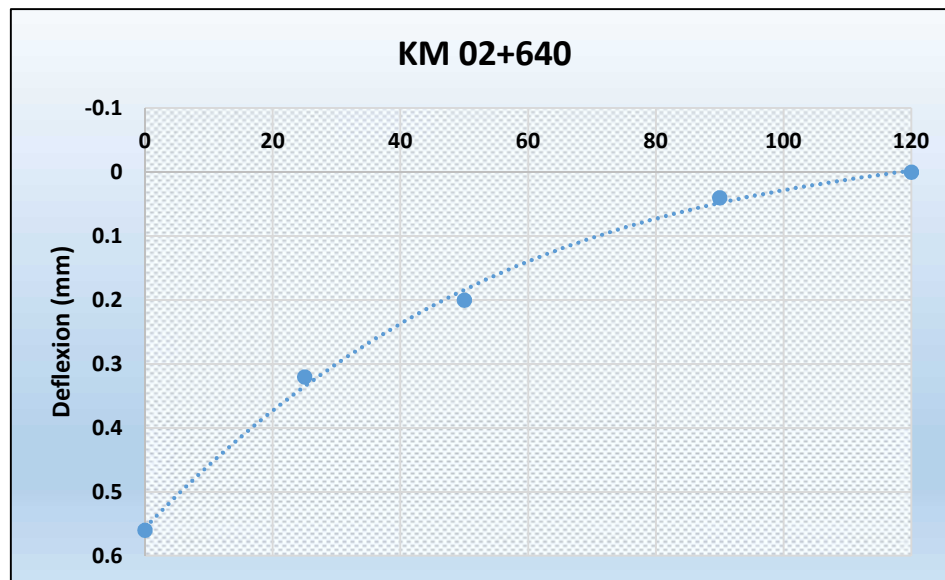
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°11

Punto 11	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.56
25	0.32
50	0.2
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 11. Curva de Deflexión 11



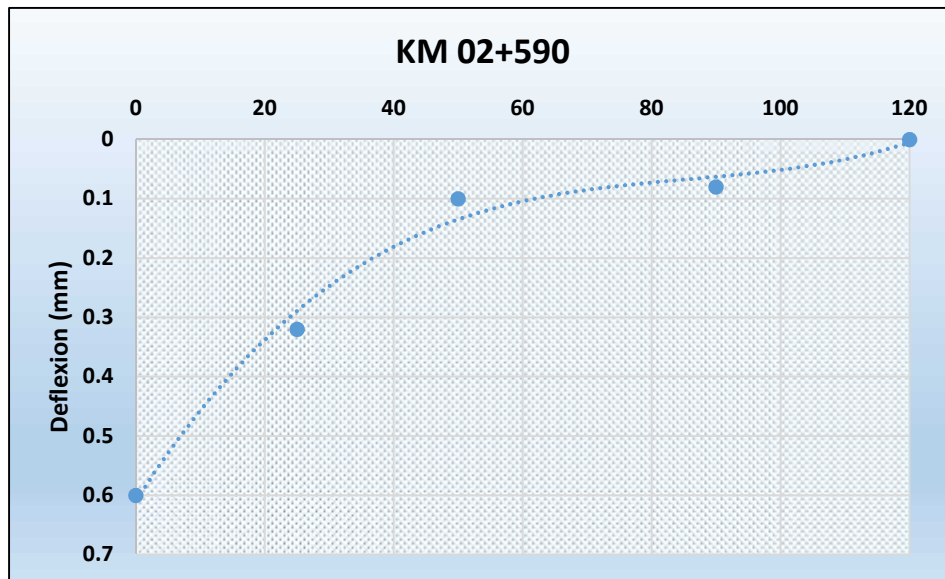
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°12

Punto 12	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.6
25	0.32
50	0.1
90	0.08
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 12. Curva de Deflexión 12



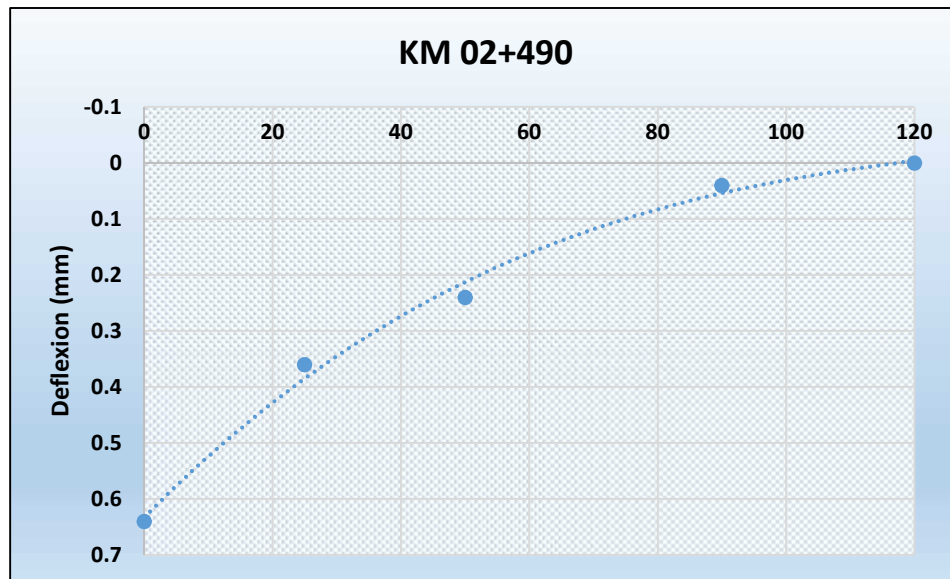
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°13

Punto 13	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.64
25	0.36
50	0.24
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 13. Curva de Deflexión 13



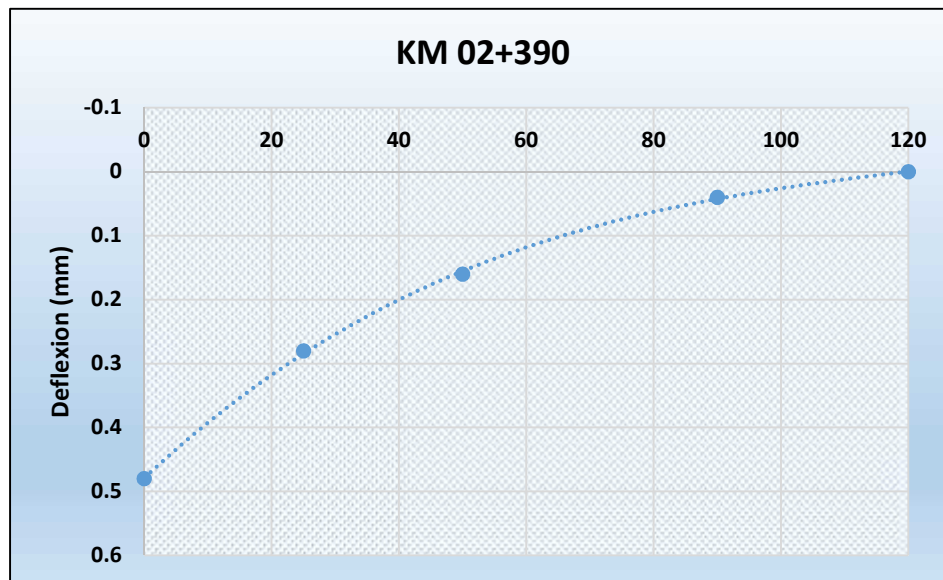
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°14

Punto 14	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.48
25	0.28
50	0.16
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 14. Curva de Deflexión 15



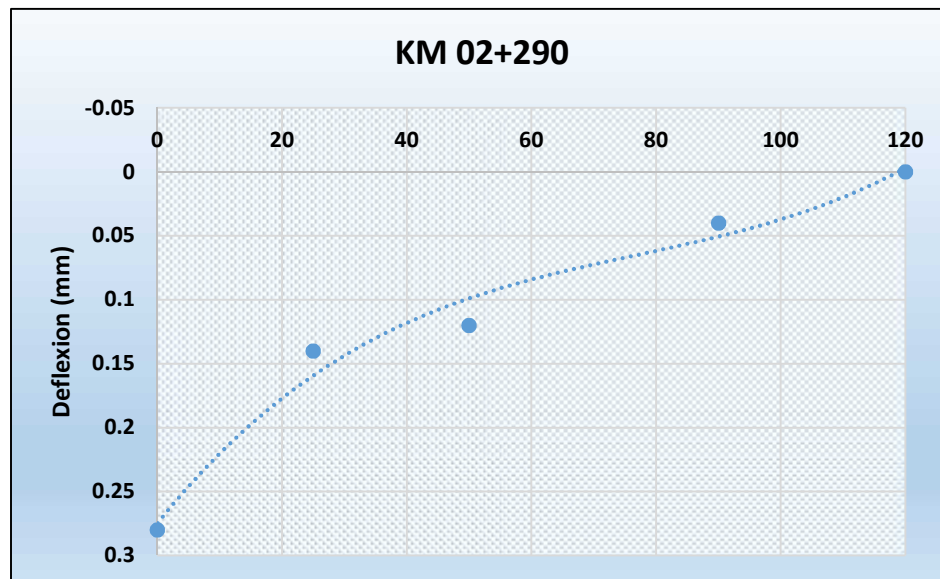
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°15

Punto 15	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.28
25	0.14
50	0.12
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 15. Curva de Deflexión 15



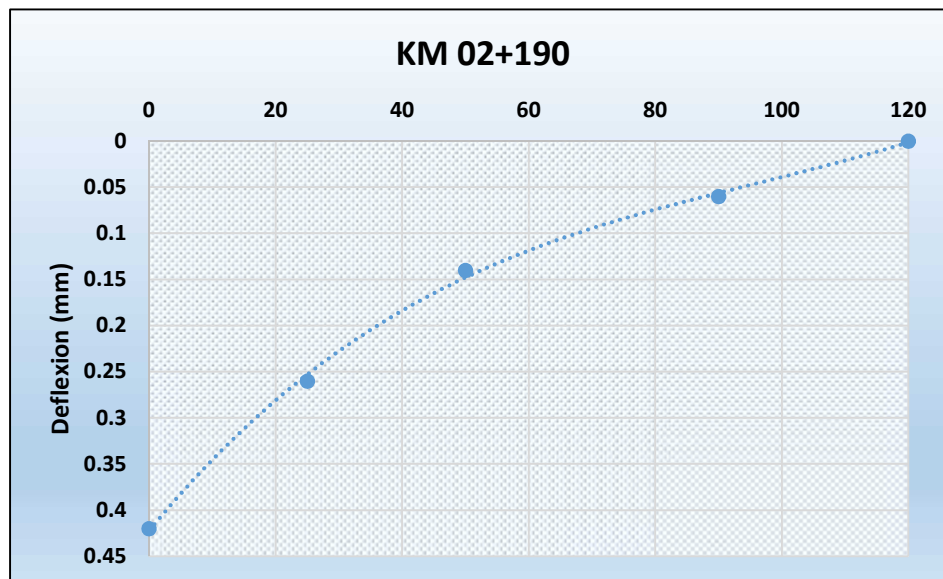
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°16

Punto 16	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.42
25	0.26
50	0.14
90	0.06
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 16. Curva de Deflexión 16



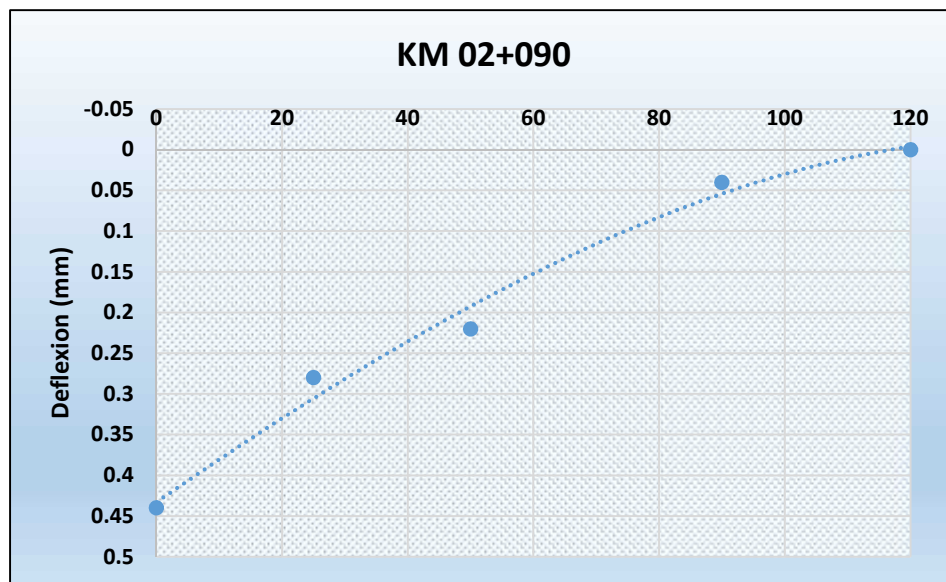
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°17

Punto 17	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.44
25	0.28
50	0.22
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 17. Curva de Deflexión 17



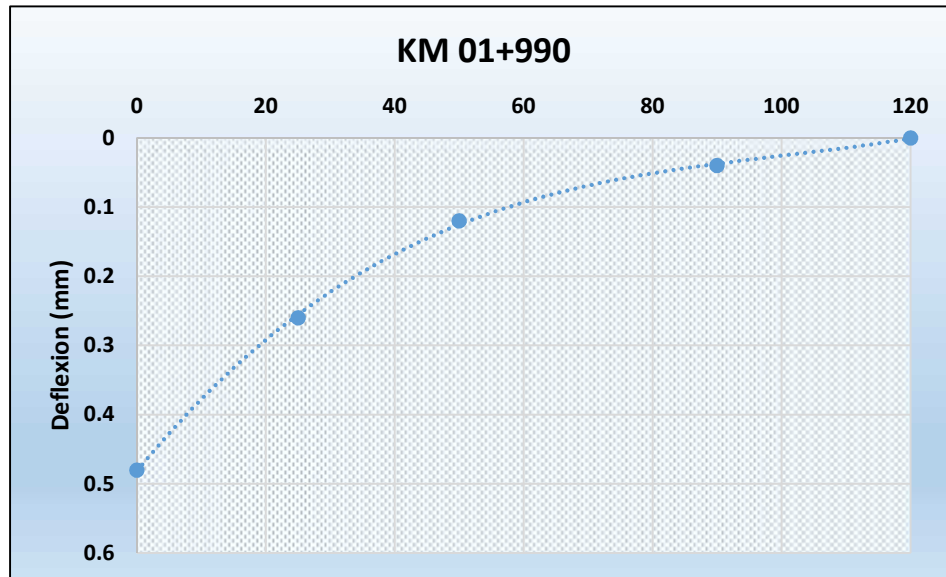
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°18

Punto 18	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.48
25	0.26
50	0.12
90	0.04
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 18. Curva de Deflexión 19



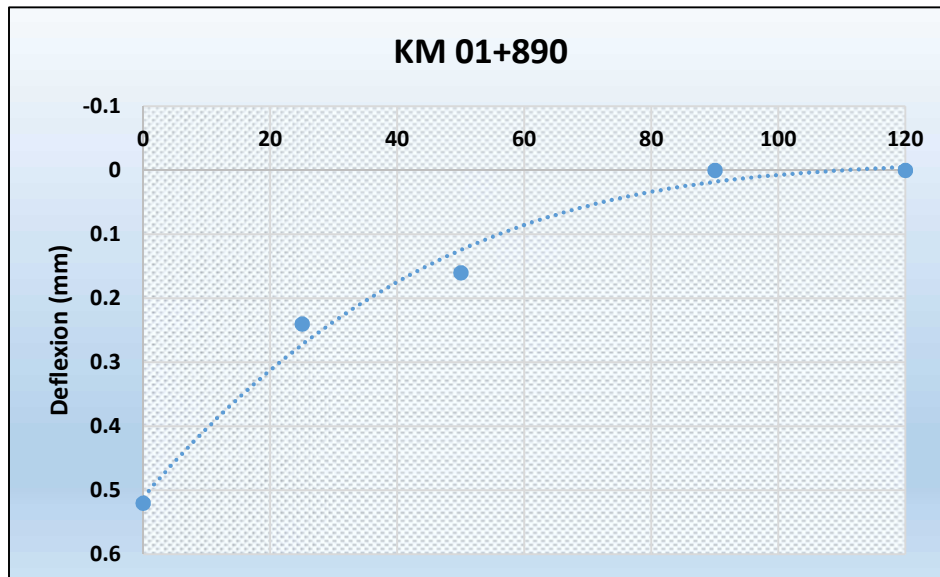
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°19

Punto 19	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.52
25	0.24
50	0.16
90	0
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 19. Curva de Deflexión 19



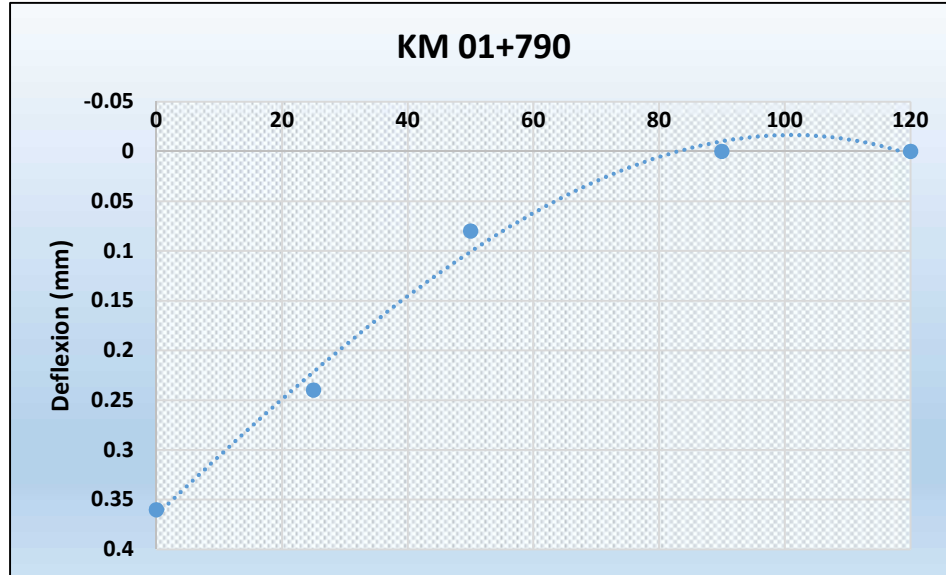
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°20

Punto 20	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.36
25	0.24
50	0.08
90	0
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 20. Curva de Deflexion 20



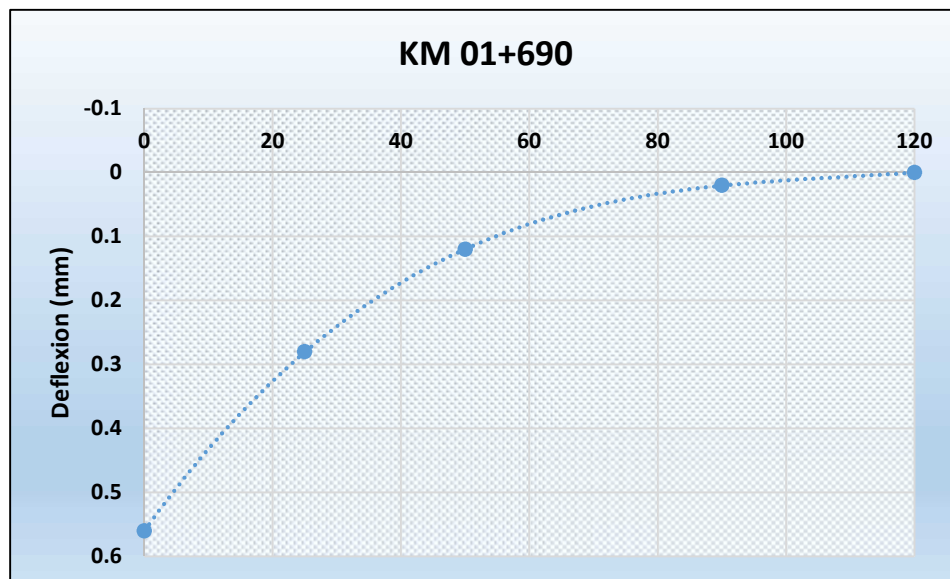
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO N°21

Punto 21	
Distancia(cm)	Deflexión (mm)
0	0.56
25	0.28
50	0.12
90	0.02
120	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Ensayo 21. Curva de Deflexión 21



Fuente: Elaboración Propia

3.2.12. TIEMPO DE VIDA ESTIMADO DEL PAVIMENTO CON REFUERZO (RECAPEO)

Los procedimientos actuales AASHTO de diseño de sobrecarpetas son el resultado de muchos años de investigación y ensayos de campo sobre pavimentos y su desempeño. La conclusión del AASHTO Road Test en 1960, que estudió el desempeño de pavimentos sujetos a cargas conocidas de tráfico, llevó al desarrollo de modelos para el dimensionamiento de pavimentos flexibles y rígidos. Aunque no se realizaron estudios específicos de sobrecarpetas en el AASHTO Road Test, se estudió el desempeño de pavimentos flexibles y rígidos que fueron reencarpetados con asfalto. Luego se han realizado esfuerzos continuos para mejorar las ecuaciones de diseño y para extender su aplicación a las sobrecarpetas⁵².

Las sobrecarpetas de asfalto u hormigón sobre pavimentos existentes se utilizan para corregir fallas funcionales o estructurales de pavimentos existentes. Es necesario aclarar bien cuándo se trata de falla funcional o de falla estructural, dado que de esto depende el tipo de Sobrecarpeta a proyectar. Las fallas funcionales son aquellas que afectan directamente o indirectamente al usuario, como ser una pobre fricción superficial, una textura rugosa, efectos de deslizamiento de vehículos por hidropelano (agua entre las llantas y el pavimento), presencia de ahuellamientos, hundimientos, asentamientos en el pavimento, etc.

Por otro lado, las fallas estructurales son aquellas que afectan la capacidad del pavimento para soportar las cargas. Ejemplos de fallas de este tipo son: espesor inadecuado, fisuras, distorsiones y desintegraciones. Muchas de estas fallas no son sólo provocadas por la acción del tránsito sino por otras causas como ser: malas técnicas de construcción, fisuración por alto gradiente térmico o baja temperatura, etc. Además, la acción del tránsito acelera el propio proceso de deterioro.

⁵² Instituto Boliviano del cemento y el Hormigón (NHI – National Highway Institute)

El diseño de sobrecarpetas se basa en el concepto de “deficiencia estructural”. Esencialmente se basa en que la capacidad estructural de una Sobrecarpeta colocada encima de un pavimento existente debe satisfacer la deficiencia entre la capacidad estructural requerida para soportar el tráfico futuro sobre un periodo de diseño especificado y la capacidad estructural efectiva del pavimento.

3.2.13. CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y DEFICIENCIA ESTRUCTURAL

Capacidad estructural es esencialmente la medida de la habilidad de un pavimento de soportar cargas de tráfico repetitivas durante el tiempo. Para un pavimento nuevo, esta capacidad decrecerá con el tiempo y el deterioro de la estructura. En este entendido, para un pavimento con una capacidad estructural $SCol$, salvo cualquier rehabilitación mayor, el tiempo y las cargas de tráfico reducirán su capacidad a alguna capacidad estructural efectiva $SCEff$, en el futuro.

Tabla 19. Tipos de Sobrecarpeta para Pavimento existente

Sobrecarpeta	Pavimento existente
Concreto asfáltico	Concreto asfáltico (CA)
Concreto asfáltico	Hormigón previamente fracturado o triturado
Concreto asfáltico	H. Simple, H. reforzado con juntas o H. continuas. Reforzado
Concreto asfáltico	CA s/H. Simple, H. reforzado con juntas o H. continuas. Reforzado
Hormigón Adherido	Hormigón
Hormigón no Adherido	Hormigón
Hormigón	Concreto Asfáltico

Fuente: Instituto Boliviano del cemento y el Hormigón (NHI – National Highway Institute)

Puesto que la capacidad estructural necesaria para soportar el tráfico futuro es igual a la de un diseño de pavimento nuevo, SCf no es muy difícil de determinar. Por lo tanto, $SCEff$ es el parámetro crítico que necesita ser determinado. En el diseño actual de sobrecarpetas, la capacidad estructural para los pavimentos existentes es representada por el número estructural (SN) para los pavimentos

flexibles y por el espesor de la losa (D) para los pavimentos rígidos. La capacidad estructural eficaz es denotada por S_{Neff} para los revestimientos flexibles y por Def para los pavimentos rígidos y compuestos. La capacidad estructural requerida para soportar el tráfico futuro es denotada por S_{Nf} para los revestimientos flexibles y por D_f para los pavimentos rígidos y compuestos.

3.2.14. ECUACIÓN AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

$$d_r = P (1 - \nu^2) / (r MR)$$

Donde:

d_r= deflexión de la superficie a una distancia r de la carga

P = carga puntual

ν = módulo de Poisson

r = distancia a la carga

MR= módulo resiliente

Usando la ecuación para el ensayo N° 1:

P = 8987 lb

d_r = 0.001574

r = 35.43 in (50 cm)

d₀ = 0.02047 in

$$MR = C (0.24 \times P) / (d_r \times r)$$

C=0.33

Entonces:

$$MR = 0.33(0.24 \times 8987) / (0.001574 \times 35.43)$$

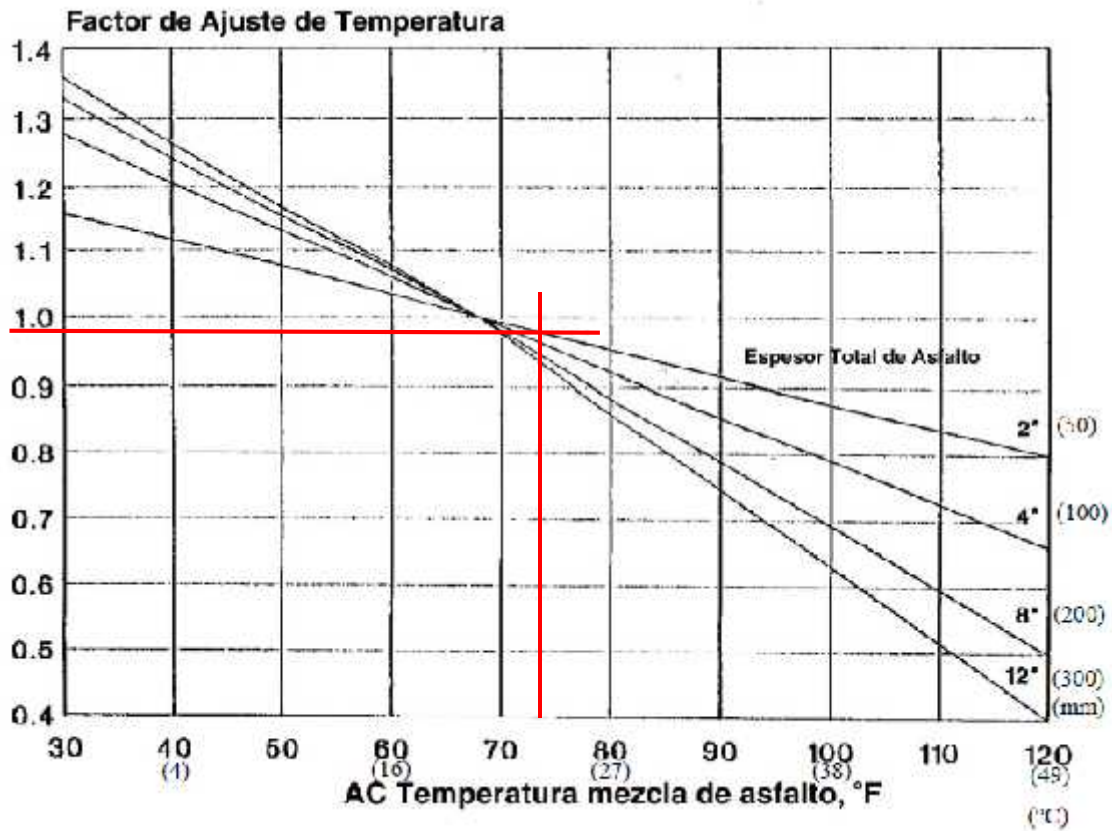
MR= 12763 psi

Para $c = 1$

$MR = 38677$ psi

$D_0 = 0.02047$ que tiene que ser ajustado

Figura 33. Nomograma para hallar el factor de ajuste por temperatura.



Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*. (1993)

De gráfico se obtiene un factor de ajuste por temperatura, para utilizarse en la deflexión máxima d_0 , para luego ingresarla a la ecuación de la AASHTO.

Se obtiene el siguiente Factor de ajuste:

Factor de ajuste = 0.98

$d_0 = 0.02047 \times 0.98 = 0.0201$ in (0.51 mm)

Ep se calcula con la siguiente ecuación de la AASHTO

$$\frac{M_R d_0}{q} = 1.5 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{D}{a} \right)^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right]^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{\left(\frac{E}{M_R} \right)} \right]$$

Donde:

d_0 = deflexión medida debajo del plato de carga

D = Espesor total del Pavimento

MR = Modulo resiliente

Ep = 40572.98

Una vez que se determina el valor de Ep, se puede calcular el valor de S_{Neff}, por la siguiente ecuación:

$$SN_{E_f} = 0.0045 D^3 \sqrt[3]{E}$$

El numero estructural efectivo para el ensayo N° 1 seria:

S_{neff} = 1.85 Que será usado en el diseño de recapeo

De igual manera se hallan lo números estructurales efectivos de los 20 ensayos restantes, los S_{neff} de los ensayos están dados para cierta Progresiva.

Los números estructurales efectivos de los demás puntos de ensayo se muestran en la siguiente tabla.

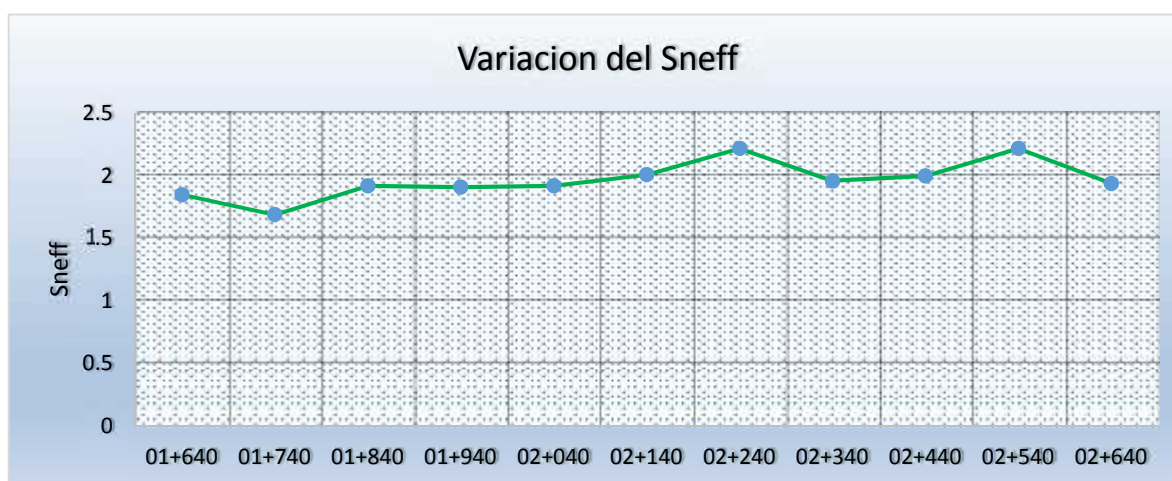
Lado Derecho de la vía:

Tabla 20. Números Estructurales efectivos del lado derecho de la vía

PROGRESIVA	Sneff
01+640	1.85
01+740	1.69
01+840	1.92
01+940	1.91
02+040	1.92
02+140	2.01
02+240	2.22
02+340	1.96
02+440	2
02+540	2.22
02+640	1.94

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Variación del SNeff a lo largo de las Progresivas



Fuente: Elaboración Propia

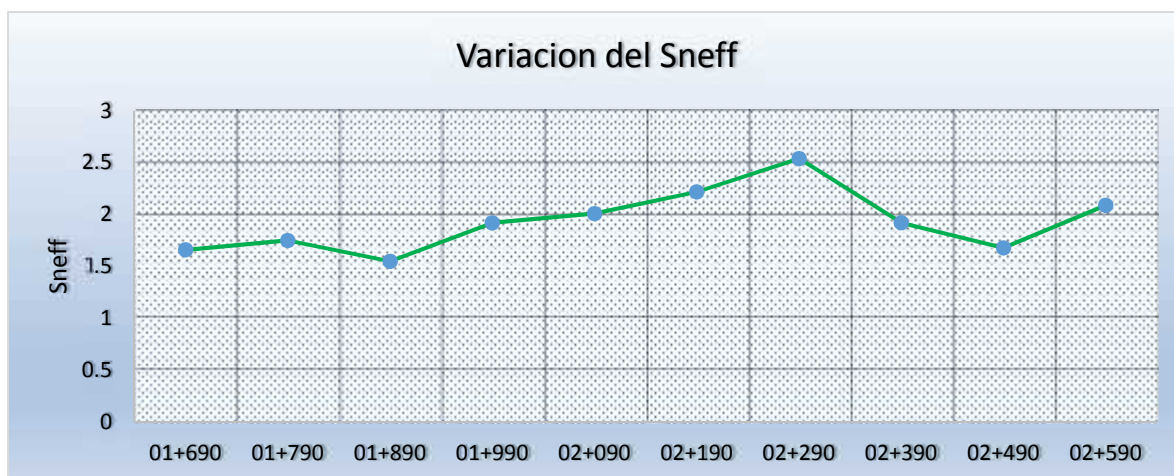
Lado izquierdo de la vía:

Tabla 21. Números Estructurales efectivos del lado izquierdo de la vía

PROGRESIVA	Sneff
01+690	1.66
01+790	1.75
01+890	1.55
01+990	1.92
02+090	2.01
02+190	2.22
02+290	2.54
02+390	1.92
02+490	1.68
02+590	2.09

Fuente: Elaboración Propia

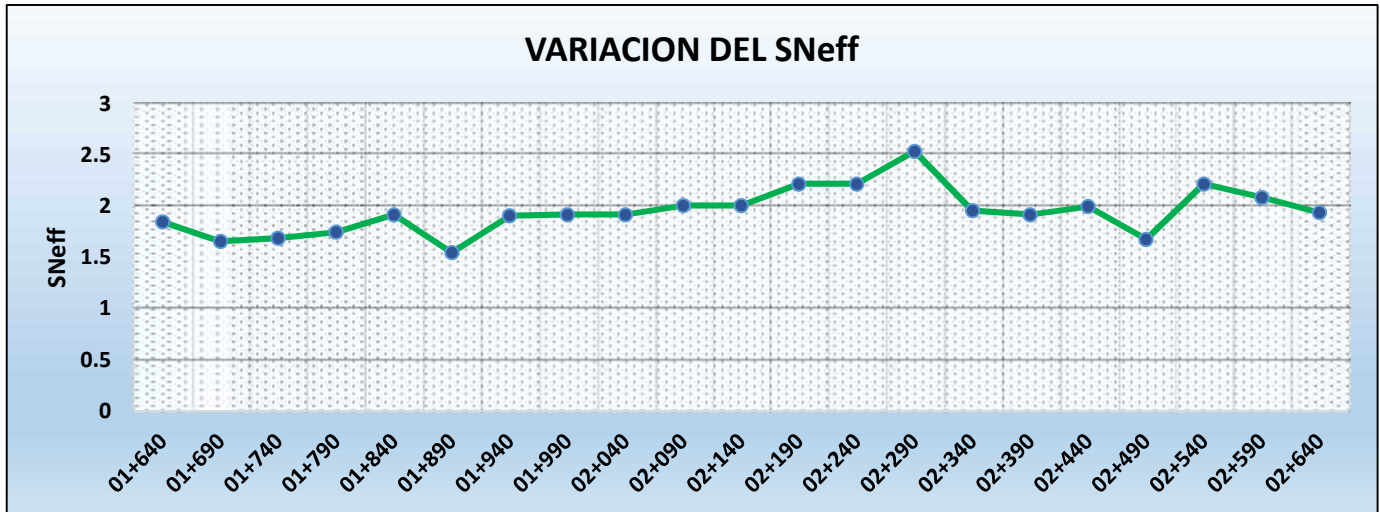
Figura 35. Variación del SNeff a lo largo de las Progresivas



Fuente: Elaboración Propia

Variación del Numero estructural efectivo de acuerdo a las progresivas.
Ambos lados derecho e izquierdo

Figura 36. Variación del SNeff a lo largo de las progresivas ambos lados



Fuente: Elaboración Propia

Sneff Promedio	1.95142857
-----------------------	-------------------

El espesor requerido de recapeo DOL se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$DOL = \frac{SNOL}{aOL} = \frac{(SNf - SNeff)}{aOL}$$

Donde:

aOL= coeficiente estructural del material de recapeo

Estructura Original

AC = 2 in

Base = 10 in

MR= 17284 psi (calculado vía NDT)

Calculando el diseño de recapeo para que el pavimento soporte 5.583695.24 ESALs en un periodo de 10 años adicionales, a un nivel de confiabilidad de R = 85% para un So = 0.45, con p1= 4.0, p2= 2.5

su a1= 0.44, a2= 0.14

aOL= 0.44 (coeficiente de capa del recapeo)

3.2.14. PARA CALCULAR SNF SE UTILIZA LA ECUACIÓN DE DISEÑO DE LA AASTHO

$$\log_{10}(\text{ESAL}) = z_R s_0 + 9.36 \log_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.1}}} + 2.32 \log_{10} \text{MR} - 8.07$$

Resultando:

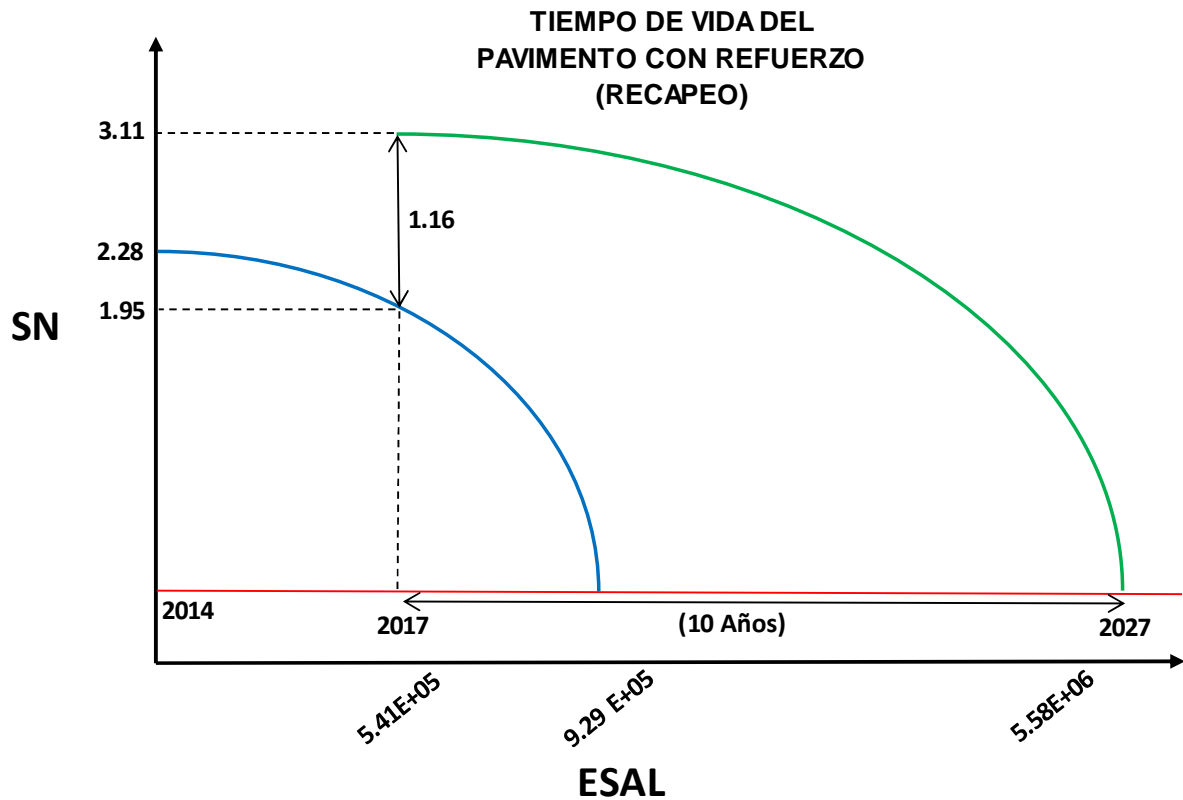
SNf = 3.11

Entonces

DOL = (3.11 - 1.95) / 0.44 = 2.64 in de AC sobre AC

En base a los resultados se calcula un tiempo de vida útil del pavimento de 10 años.

Figura 37. Tiempo de vida proyectado del Pavimento con refuerzo (recapeo)



Fuente: Elaboración Propia

De igual manera se puede calcular para 15 años, calculando el diseño de recapeo para que el pavimento soporte 8525045.23 ESALs en un periodo de 15 años adicionales, a un nivel de confiabilidad de $R = 85\%$ para un $S_o = 0.45$, con $p_1 = 4.0$, $p_2 = 2.5$

su $a_1 = 0.44$, $a_2 = 0.14$

$a_{OL} = 0.44$ (coeficiente de capa del recapeo)

Resultando:

$SN_f = 3.34$

Entonces

$DOL = (3.34 - 1.95) / 0.44 = 3.16$ in de AC sobre AC

En base a los resultados se calcula un tiempo de vida útil del pavimento de 15 años.

3.3. PRUEBAS DE NORMALIDAD

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SN	21	100,0%	0	0,0%	21	100,0%

Descriptivos

		Estadístico	Error estándar
SN	Media	1,9552	,05040
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1,8501 2,0604
	Media recortada al 5%	1,9496	
	Mediana	1,9500	
	Varianza	,053	
	Desviación estándar	,23097	
	Mínimo	1,62	
	Máximo	2,39	
	Rango	,77	
	Rango intercuartil	,36	
	Asimetría	,340	,501
	Curtosis	-,827	,972

Pruebas de normalidad

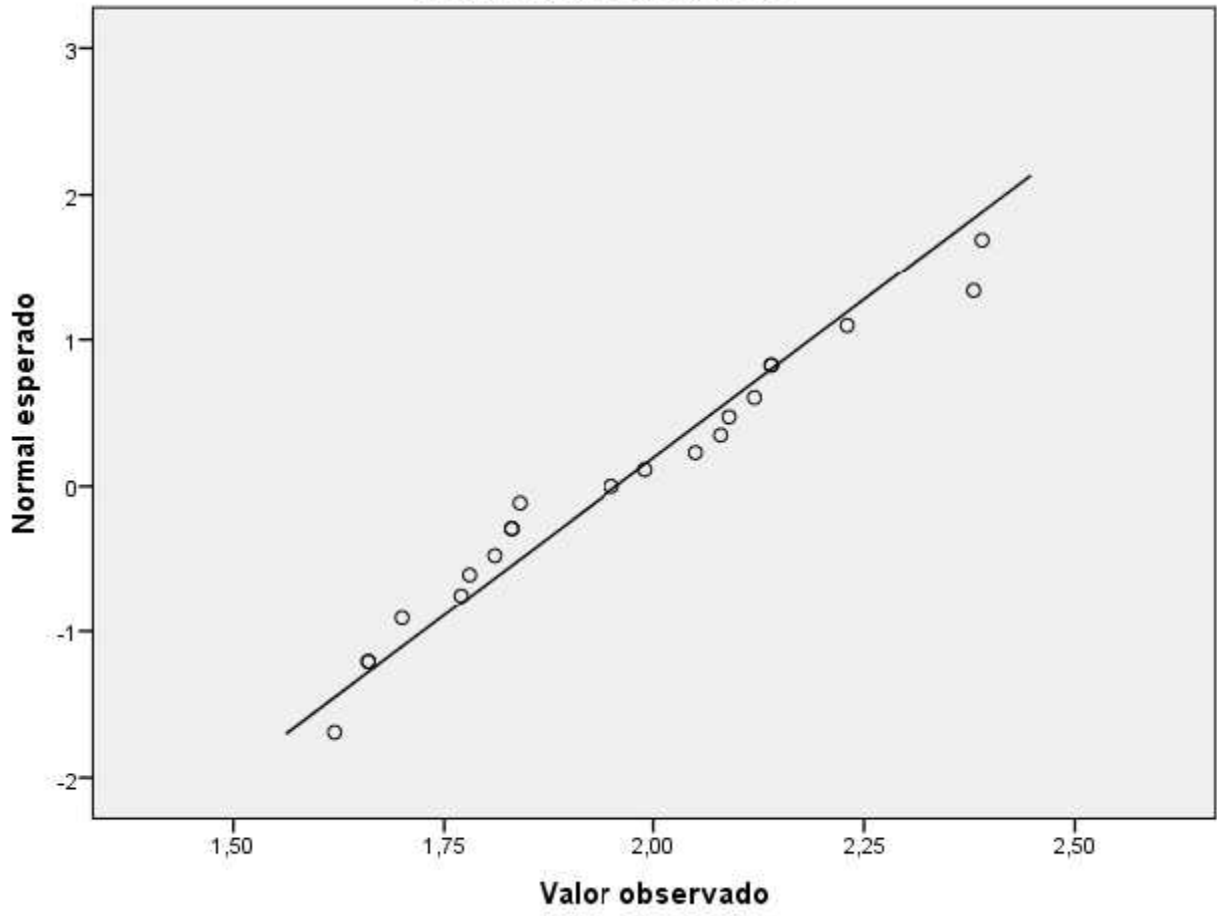
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SN	,167	21	,129	,946	21	,282

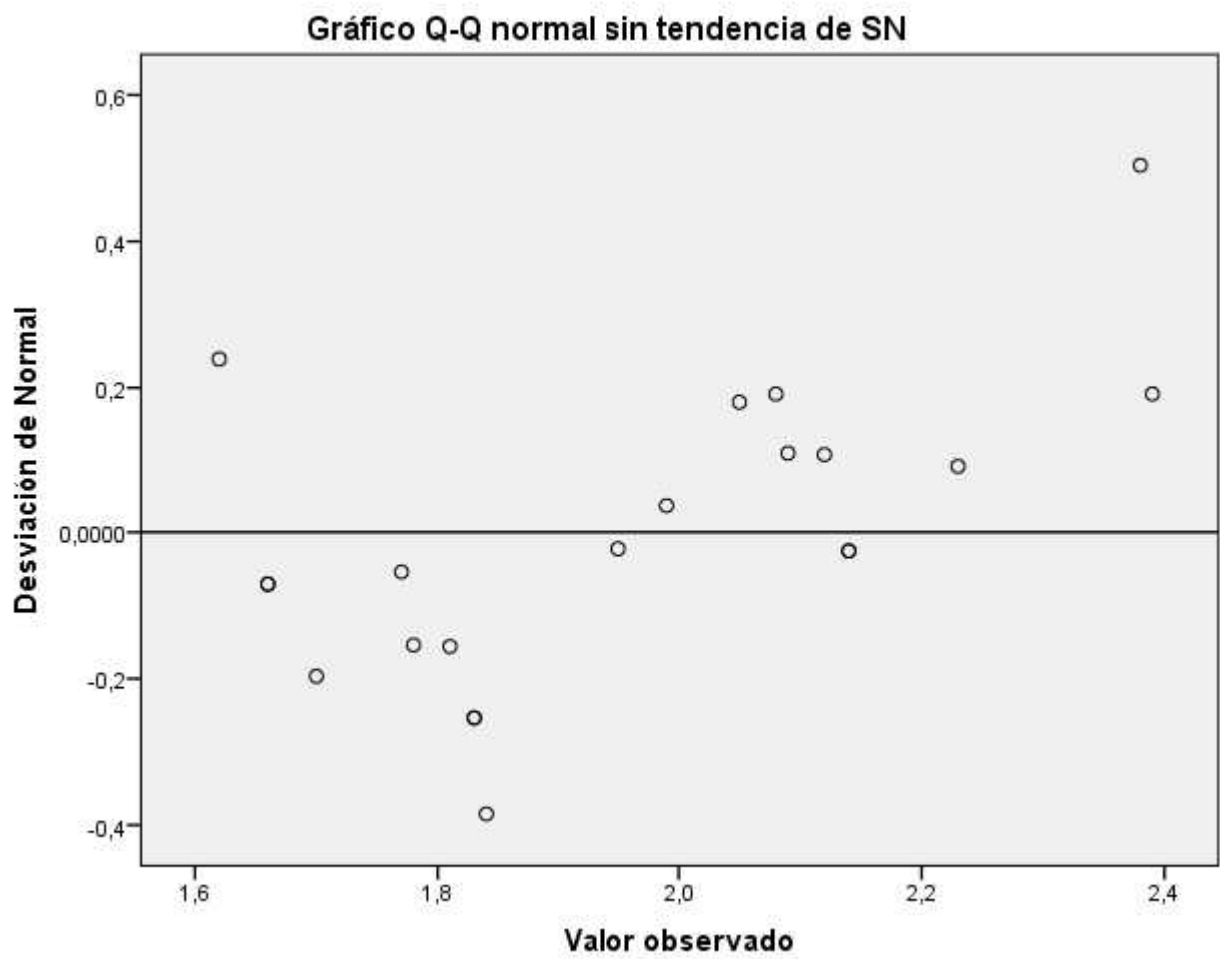
a. Corrección de significación de Lilliefors

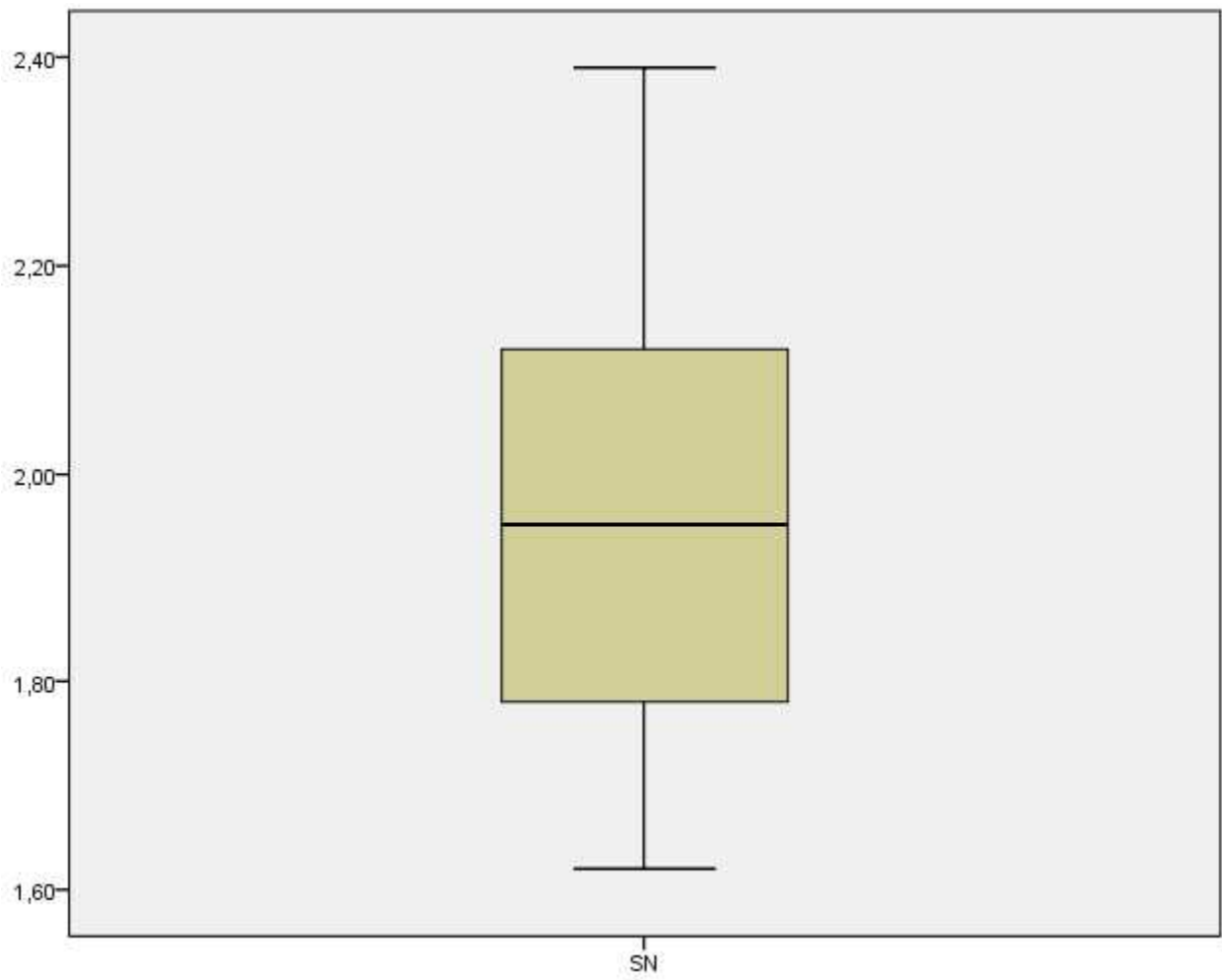
Numero estructural Sneff

Frecuencia	tallo	&	Hoja
3.00	16	.	266
3.00	17	.	078
4.00	18	.	1334
2.00	19	.	59
3.00	20	.	589
3.00	21	.	244
1.00	22	.	3
2.00	23	.	89

Gráfico Q-Q normal de SN







CAPÍTULO IV:

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Prueba T

Estadísticas de muestra única

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Refuerzo	21	2,6252	,52547	,11467

Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 2					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	97.5% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Refuerzo	5,453	20	,000	,62524	,3474	,9031

Se concluye que La variación del tráfico si influye en la determinación del refuerzo.

CAPÍTULO V:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES:

- 1) De acuerdo a los datos extraídos en campo, la evaluación deflectométrica nos arroja que la actual capacidad estructural del Pavimento en estudio es 1.95 es decir su número estructural efectivo (Sneff).
- 2) La deflexión máxima promedio en el centro de carga (d_0) es 0.44 mm, los radios de curvatura se muestran en la siguiente tabla.

Ensayo	km	Lado	D0	D25	Radio de Curvatura (m)
1	01+640	LD	13	7	536.5
2	01+740	LD	10	6	804.7
3	01+840	LD	12	7	643.8
4	01+940	LD	7	2	715.3
5	02+040	LD	12	8	919.6
6	02+140	LD	9	6	1072.9
7	02+240	LD	5	3	2145.8
8	02+340	LD	9	5	804.7
9	02+440	LD	11	8	1072.9
10	02+540	LD	9	7	1609.4
11	02+640	LD	14	8	536.5
12	02+590	Li	15	8	459.8
13	02+490	Li	16	9	459.8
14	02+390	Li	12	7	643.8
15	02+290	Li	7	3	919.6
16	02+190	Li	10	6	804.7
17	02+090	Li	11	7	804.7
18	01+990	Li	12	6	585.2
19	01+890	Li	13	6	459.8
20	01+790	Li	9	6	1072.9
21	01+690	Li	14	7	459.8

Fuente: Elaboración propia

- 3) El proyecto fue diseñado con el numero estructural 2.28 hallado en función de los espesores de las capas del pavimento estudiado que actualmente ha perdido o se ha deteriorado (2.28 – 1.95), 0.33 en términos de Numero Estructural.
- 4) El tráfico medido actualmente es 9786 vehículos diarios que equivale a 541005.8 miles de ejes equivalentes y según la tasa de crecimiento se puede proyectar para 5, 10, 15 años.

AÑOS	ESAL
5 años	2743165.43
10 años	5583695.24
15 años	8525045.23

- 5) De acuerdo a estos datos se concluye que la capacidad estructural actual solo va alcanzar hasta mediados del año 2019, Si se desea prolongar el tiempo de vida de este pavimento es necesario realizar el reforzamiento estructural (recapeo), para lo cual se ha calculado para 10 y 15 años los siguientes números estructurales que se deben incrementar y los espesores de recapeo.

Periodos de diseño	Espesor de Recapeo
10 años - SN=1.16	2.64 in (6.71 cm)
15 años - SN=1.39	3.16 in (8.03 cm)

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomendaría la construcción de obras de drenaje que actualmente es inexistente en la vía, esto serviría de mucho para la mantención de buen estado del Pavimento.
- 2) Se debería regular el tráfico ya que la presencia de vehículos pesados genera el mayor factor de destrucción en la vía haciendo que esta se deteriore con mayor rapidez.
- 3) Se aconseja que en los próximos 2 años se debería hacer los trabajos de reforzamiento dado que el pavimento al deteriorarse va a presentar sus primeras fallas a los 3 años y para hacer el recapeo habría que rehabilitar la capa que esta fallada y eso generaría un costo adicional.
- 4) Se debe habilitar vías alternas ya que es una zona urbana y el tráfico es muy variado, el crecimiento poblacional y económico requiere una mayor demanda de transporte público, así como el incremento de tránsito peatonal, los medios de transporte pesados dificultan el ordenamiento vehicular y libre tránsito.

FUENTES DE INFORMACION

Referencias

1. *AASHTO, Guide for Dising Of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.*
2. *Florez Gonzales , L. (2012). Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de carreteras de bajo Volumen de Transito. Lima.*
3. *Gutiérrez Lázares, J. W. (2007). Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de Análisis y Diseño en el Perú. Lima.*
4. *Hanser López, J. (2008). Analisis de la Evaluacion Tecnica y Economica de Proyectos viales con el Modelo de estandares de Conservacion y Diseño de Carreteras. Guatemala.*
5. *Hoffman , M., & Del Aguila , P. (1985). Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones. Louis Berger Internacional Inc.*
6. *Huang, Y. (1993). Pavement Analysis and Disign. Person Prentice- Hall, Inc.*
7. *Montejo Fonseca, A. (2006). Ingeniería de Pavimentos; Fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogota : Universidad Católica de Colombia.*
8. *ORDOÑEZ, S. M. (2006). “Diseño moderno de Pavimentos Asfálticos”. Lima: FIC UNI.*

ANEXOS

1. MATRIZ DE CONSISTENCIA
2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
3. FICHAS DE VALIDACION DE EXPERTOS
4. OTROS

PANEL FOTOGRAFICO

Estudio de Trafico



**Conteo vehicular
Sentido Pilcomayo -
Chupaca**

**Vehículo pesado
Camión C2**





Conteo vehicular sentido Chupaca - Pilcomayo



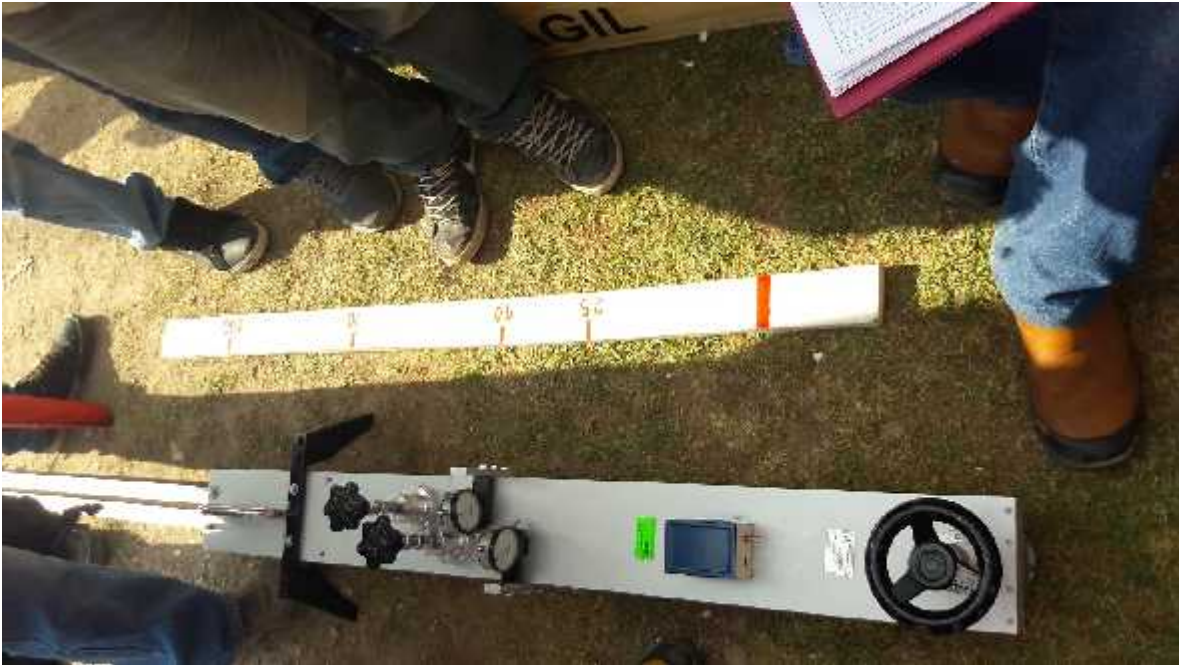
**Conteo vehicular Paradero 5
Pilcomayo**

Vehículo Ligero Sentido Chupaca - Pilcomayo



Conteo Vehicular

ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA CON VIGA NENKELMAN



Desmontaje del equipo, viga y regla





**Colocación del vibrador y los
diales de lectura**

Colocación de los diales





Se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero

Posicionamiento del camión C2 para dar comienzo al ensayo





Se comienza haciendo las lecturaciones correspondientes de los diales



Registro de las lecturas



Primer y
segundo
Dial



Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>¿Cuál es la relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV. Coronel Parra de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?</p>	<p>Evaluar la relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.</p>	<p>La relación entre la variación del tráfico y deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 influye para determinar el refuerzo.</p>	<p>VARIABLES DE ESTUDIO</p> <p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> X_1= Variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 X_2= Deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 <p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Y_1= Espesor del refuerzo de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000
<p>a) ¿Cuál es el grado de influencia de la variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?</p> <p>b) ¿Cuál es la relación entre el deterioro estructural y la variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo?</p>	<p>a) Evaluar la variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.</p> <p>b) Evaluar el deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 para determinar el refuerzo.</p>	<p>a) El grado de asociación entre la variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 es significativa para determinar el refuerzo.</p> <p>b) La relación entre el deterioro estructural y la variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 influye en el refuerzo.</p>	<p>VARIABLES DE ESTUDIO</p> <p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> X_1= Variación del tráfico de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 X_2= Deterioro estructural de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000 <p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Y_1= Espesor del refuerzo de la AV. CORONEL PARRA de la progresiva KM 00 +000 hasta KM 03 +000

+

**FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. CORONEL PARRA
SENTIDO	E X ESTE - OESTE
UBICACIÓN	PARADERO 5 PILCOMAYO

ESTACION	D1	
CODIGO DE LA ESTACION	S.01	
DA Y FECHA	PROMEDIO	2016

HORA	DESTINO	CARRIL	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
					PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1/T3S2	T3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
PERIODO 15 MIN.																								
6:00:00	6:15:00		15	2	2		14		1	1													35	0.74%
6:15:00	6:30:00		18	3	1		16		1	2		2					1						44	0.93%
6:30:00	6:45:00		21	2	3		20	1			2							1					50	1.06%
6:45:00	7:00:00		28	8	5	1	24																66	1.40%
7:00:00	7:15:00		23	10	2		33	1	1	1							2				1		74	1.57%
7:15:00	7:30:00		20	8	3		25	1			3												60	1.27%
7:30:00	7:45:00		19	9	9		28	2			2	1						1					69	1.46%
7:45:00	8:00:00		25	6	8		24	3		2	2	2											72	1.53%
8:00:00	8:15:00		26	12	4		32	2			4		1										81	1.72%
8:15:00	8:30:00		20	10	5		30	2			3							1					71	1.51%
8:30:00	8:45:00		25	7	6	1	24	2			3												68	1.44%
8:45:00	9:00:00		24	4	3		25	3			4	1											64	1.36%
9:00:00	9:15:00		32	6	4	1	27	3			6							1					80	1.70%
9:15:00	9:30:00		30	6	4		29	2			5											1	77	1.63%
9:30:00	9:45:00		26	4	5		35	2		1	4												77	1.63%
9:45:00	10:00:00		31	5	6	1	32	7			5							1					88	1.87%
10:00:00	10:15:00		27	17	3		39	2			8							2					98	2.08%
10:15:00	10:30:00		29	3	4		25	5			3							1					70	1.49%
10:30:00	10:45:00		36	6	4	1	22	3			3		1										76	1.61%
10:45:00	11:00:00		33	5	6	1	41	3			6									1			96	2.04%
11:00:00	11:15:00		36	6	8	1	35	5			3	1											95	2.02%
11:15:00	11:30:00		30	4	5		38	2			9		1					1		1			91	1.93%
11:30:00	11:45:00		32	4	3	1	40	4			7												91	1.93%
11:45:00	12:00:00		35	4	1		32	3	1		5												81	1.72%
12:00:00	12:15:00		37	2	5		24	2			5												75	1.59%
12:15:00	12:30:00		30	1	3		33	3			5	2											77	1.63%

12:30:00	12:45:00	↘	42	1	2		26	2			4									77	1.63%
12:45:00	13:00:00	↗	27	3	7		16	3			3							1		60	1.27%
13:00:00	13:15:00	→	35	7	6	2	23	1	2		1									77	1.63%
13:15:00	13:30:00	↘	30	4	5		28	2			2									71	1.51%
13:30:00	13:45:00	↗	22	4	4	1	24	1			1	1								58	1.23%
13:45:00	14:00:00	→	25	3	3	2	29	2			2									66	1.40%
14:00:00	14:15:00	↘	20	7	7		35	2			1									72	1.53%
14:15:00	14:30:00	↗	19	10	11	1	34	3			3	1					1			83	1.76%
14:30:00	14:45:00	→	22	11	4	2	24	3			1	3								70	1.49%
14:45:00	15:00:00	↘	32	6	7		25	2	1			1	1							75	1.59%
15:00:00	15:15:00	↗	22	6	6	2	25	2			2	1								66	1.40%
15:15:00	15:30:00	→	22	19	7	2	22	2			7									81	1.72%
15:30:00	15:45:00	↘	40	15	8	1	27	3			2	1					1			98	2.08%
15:45:00	16:00:00	↗	19	8	5		30	1	2		1									66	1.40%
16:00:00	16:15:00	→	26	10	6	2	37	3			4	1								89	1.89%
16:15:00	16:30:00	↘	15	10	10	1	24	2	1		2	1								66	1.40%
16:30:00	16:45:00	↗	15	12	6		26	2								1	1			63	1.34%
16:45:00	17:00:00	→	20	19	8	1	42	3			4	3	1				1			102	2.17%
17:00:00	17:15:00	↘	28	13	11	1	34	2	1	1										91	1.93%
17:15:00	17:30:00	↗	15	7	7	1	34	1	1	1										67	1.42%
17:30:00	17:45:00	→	12	14	6	2	29	2			1									66	1.40%
17:45:00	18:00:00	↘	25	12	7		23	2	1											70	1.49%
18:00:00	18:15:00	↗	22	6	5		29	2	2	1										67	1.42%
18:15:00	18:30:00	→	27	4	3	1	32	2	2	1										72	1.53%
18:30:00	18:45:00	↘	19	15	5	1	36	2												78	1.66%
18:45:00	19:00:00	↗	20	8	5		29	3	2	2										69	1.46%
19:00:00	19:15:00	→	19	5	5	1	40	1												71	1.51%
19:15:00	19:30:00	↘	15	8	1		24	4												52	1.10%
19:30:00	19:45:00	↗	10	4	6		32	5		1										58	1.23%
19:45:00	20:00:00	→	18	5	5	1	23	2	2							1				57	1.21%
20:00:00	20:15:00	↘	23	4			30													57	1.21%
20:15:00	20:30:00	↗	17	3	4	1	17	2	2											46	0.98%
20:30:00	20:45:00	→	15	1	3		12		1											32	0.68%
20:45:00	21:00:00	↘	32	10	4	1	14	2	3	1										67	1.42%
21:00:00	21:15:00	↗	24	15	4		22		2	1										68	1.44%
21:15:00	21:30:00	→	18	7	3	1	18				1									48	1.02%
21:30:00	21:45:00	↘	16	4	1		15													36	0.76%
21:45:00	22:00:00	↗	15	5	1		12			2										35	0.74%
22:00:00	22:15:00	→	10	2	3		9			1							1			26	0.55%
22:15:00	22:30:00	↘	11		2	1	10			1										25	0.53%

22:30:00	22:45:00		8	3			8														19	0.40%	
22:45:00	23:00:00		9	1			3														13	0.28%	
23:00:00	23:15:00		6		1	1				1											9	0.19%	
23:15:00	23:30:00		4	1			1														6	0.13%	
23:30:00	23:45:00		5	2						1											8	0.17%	
23:45:00	0:00:00		4	5		1	1			1											12	0.25%	
0:00:00	0:15:00		1																		1	0.02%	
0:15:00	0:30:00		2		1																3	0.06%	
0:30:00	0:45:00																				0	0.00%	
0:45:00	1:00:00		1	1																	2	0.04%	
1:00:00	1:15:00		2																		2	0.04%	
1:15:00	1:30:00		3		1		1														5	0.11%	
1:30:00	1:45:00		1																		1	0.02%	
1:45:00	2:00:00		2	1																	3	0.06%	
2:00:00	2:15:00																				0	0.00%	
2:15:00	2:30:00																				0	0.00%	
2:30:00	2:45:00		1																		1	0.02%	
2:45:00	3:00:00		1																		1	0.02%	
3:00:00	3:15:00																				0	0.00%	
3:15:00	3:30:00																				0	0.00%	
3:30:00	3:45:00		1																		1	0.02%	
3:45:00	4:00:00				1		1														2	0.04%	
4:00:00	4:15:00			1																	1	0.02%	
4:15:00	4:30:00		2																		2	0.04%	
4:30:00	4:45:00		2	2			2														6	0.13%	
4:45:00	5:00:00		3	1	2		6														12	0.25%	
5:00:00	5:15:00		1	5			5			1											12	0.25%	
5:15:00	5:30:00		4	3		1	10			2											20	0.42%	
5:30:00	5:45:00		3	1	3		12														19	0.40%	
5:45:00	6:00:00		8	2	1		15														26	0.55%	
TOTAL			1646	490	325	40	1831	134	26	25	143	20	7	0	0	1	17	1	3	1	1	4711	
%			34.94%	10.40%	6.90%	0.85%	38.87%	2.84%	0.55%	0.53%	3.04%	0.42%	0.15%	0.00%	0.00%	0.02%	0.36%	0.02%	0.06%	0.02%	0.02%		

**FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA CARRETERA	AV. CORONEL PARRA		
SENIDO	OESTE - ESTE	E ←	D X
UBICACION	PARADERO 5 PILCOMAYO		

ESTACION	02		
CODIGO DE LA ESTACION	S 02		
DIA Y FECHA	PRMEDIO		2016

HORA	DESTINO	CARRIL	AUTO	STATION WAGON	CAMONETAS			MICRO	BUS			CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%
					PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1/T3S2	T3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3				
PERIODO 15 MIN																									
6:00:00	6:15:00	→	18	4			20		2														44	0.87%	
6:15:00	6:30:00	→	17	3	1		24	1	1	3							2						52	1.02%	
6:30:00	6:45:00	→	20	2		1	25	2															50	0.99%	
6:45:00	7:00:00	→	20	8	2		27	1	2	2	1												63	1.24%	
7:00:00	7:15:00	→	25	3	3		29	1	1	1													63	1.24%	
7:15:00	7:30:00	→	24	4			28	2			1												59	1.16%	
7:30:00	7:45:00	→	28	5	2		30	1			2		1										69	1.36%	
7:45:00	8:00:00	→	26	6	4	1	33	1	1														72	1.42%	
8:00:00	8:15:00	→	30	2	1		32	2	1		1						1						70	1.38%	
8:15:00	8:30:00	→	32	5	3		30	2			1												73	1.44%	
8:30:00	8:45:00	→	28	4	2		24	3				1											62	1.22%	
8:45:00	9:00:00	→	35	3	1		28	2			2												69	1.36%	
9:00:00	9:15:00	→	33	4	2	1	28	1	2		3												74	1.46%	
9:15:00	9:30:00	→	35	4	3		33	2			1												78	1.54%	
9:30:00	9:45:00	→	34	5	1		30	2			2												74	1.46%	
9:45:00	10:00:00	→	42	6	2	1	35	4			3												93	1.83%	
10:00:00	10:15:00	→	35	7	5		36	3	1		1	2		1									91	1.79%	
10:15:00	10:30:00	→	35	11	6	1	37	3		1	3						1						98	1.95%	
10:30:00	10:45:00	→	45	13		2	45	2			5	1											113	2.23%	
10:45:00	11:00:00	→	32	12	1	1	28	2			3	3	1				1						84	1.66%	
11:00:00	11:15:00	→	31	17	2		33	1			7	2											93	1.83%	
11:15:00	11:30:00	→	27	16	4		27	2			4	1					2						83	1.64%	
11:30:00	11:45:00	→	24	11	2		25	3			1	1					1						68	1.34%	
11:45:00	12:00:00	→	22	5	3		41	4			2	1					8						86	1.69%	
12:00:00	12:15:00	→	25	8	3		34	2	1	1	1	1											76	1.50%	
12:15:00	12:30:00	→	28	10	7	1	45	3			2						1						97	1.91%	

12:30:00	12:45:00	↔	40	17	7		41				1	1	2							109	2.15%	
12:45:00	13:00:00	↔	37	16	3	2	30	1			2										91	1.79%
13:00:00	13:15:00	↔	22	3	4		26	3			6	1									65	1.28%
13:15:00	13:30:00	↔	20	4	6		32	2					1						1		66	1.30%
13:30:00	13:45:00	↔	18	8	7		29	1													63	1.24%
13:45:00	14:00:00	↔	28	15	6		29	2													80	1.58%
14:00:00	14:15:00	↔	29	16	2	1	30	1													79	1.56%
14:15:00	14:30:00	↔	32	19	1	3	32	6		1	2	2									98	1.93%
14:30:00	14:45:00	↔	23	8	4		23	1				1	1								61	1.20%
14:45:00	15:00:00	↔	21	3	3		34	3					2								66	1.30%
15:00:00	15:15:00	↔	27	12	7	2	31	2	1		8									1	91	1.79%
15:15:00	15:30:00	↔	23	4	3	3	41	3			2										79	1.56%
15:30:00	15:45:00	↔	35	10	7	4	43	3			2									1	105	2.07%
15:45:00	16:00:00	↔	40	4	4		44	2			1	6									101	1.99%
16:00:00	16:15:00	↔	43	1	6	1	46	2			4	4							1		108	2.13%
16:15:00	16:30:00	↔	45	8	8		48	4			5										118	2.33%
16:30:00	16:45:00	↔	28	7	2		30	8			2										77	1.52%
16:45:00	17:00:00	↔	23	10	8	1	32	17	1	1	8										101	1.99%
17:00:00	17:15:00	↔	15	6	8		23	5			7	5									69	1.36%
17:15:00	17:30:00	↔	19	12	2		30	2	1		3									2	71	1.40%
17:30:00	17:45:00	↔	15	7	10	1	30	5			6									1	75	1.48%
17:45:00	18:00:00	↔	17	8	9		17	1			3									1	56	1.10%
18:00:00	18:15:00	↔	31	11	4		45	1	1		2										95	1.87%
18:15:00	18:30:00	↔	26	12	6	2	42	2													90	1.77%
18:30:00	18:45:00	↔	26	11	5	1	35	1		1	6									1	87	1.71%
18:45:00	19:00:00	↔	18	10	2		30				6	1								2	69	1.36%
19:00:00	19:15:00	↔	18	11	1		17	1				1									49	0.97%
19:15:00	19:30:00	↔	19	4			8														31	0.61%
19:30:00	19:45:00	↔	37	6	6		38				2										89	1.75%
19:45:00	20:00:00	↔	25	13	3		31		2	1	3	1									79	1.56%
20:00:00	20:15:00	↔	16	1	2	1	32			1	3		1								57	1.12%
20:15:00	20:30:00	↔	17	6	3		23	1			1										51	1.00%
20:30:00	20:45:00	↔	27	9	10		35	1			1									1	84	1.66%
20:45:00	21:00:00	↔	20	5	7	1	18													1	52	1.02%
21:00:00	21:15:00	↔	22	4	3		29	2	1	1										1	63	1.24%
21:15:00	21:30:00	↔	19	2		2	20				3									1	47	0.93%
21:30:00	21:45:00	↔	13	8	1		12				2										36	0.71%
21:45:00	22:00:00	↔	12	4			15														31	0.61%
22:00:00	22:15:00	↔	10	3		1	11	1		1											27	0.53%
22:15:00	22:30:00	↔	11	2			10														23	0.45%

